

ISSN 2313-4372

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*ВЫПУСК 8*

---

# Т Р У Д Ы

## Поволжского государственного технологического университета

---

Серия Технологическая



Йошкар-Ола  
2020

УДК 62  
ББК 3  
Т 78

**Ответственный и научный редактор сборника**

проректор ПГТУ по научной работе, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, доктор физико-математических наук *Иванов Д. В.*

**Редакционная коллегия серии:**

*Павлов А.И.*, доктор технических наук, профессор

*Поздеев А.Г.*, доктор технических наук, профессор

*Роженцов А. А.*, доктор технических наук, профессор

*Романов Е. М.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

*Рябова Н. В.*, доктор физико-математических наук, профессор

*Сидоркина И. Г.*, доктор технических наук, профессор

*Котлов В. Г.*, кандидат технических наук, доцент

**Труды Поволжского государственного технологи-**  
Т 78 **ческого университета.** Сер.: Технологическая. Вып. 8 /  
отв. и науч. ред. Д. В. Иванов. – Йошкар-Ола: Поволж-  
ский государственный технологический университет,  
2020. – 134 с.

В ежегодном периодическом издании представлены статьи ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов и сотрудников ПГТУ, в которых рассматривается широкий круг актуальных вопросов, охватывающих различные научные направления.

УДК 62  
ББК 3

ISSN 2313-4372

© Поволжский государственный  
технологический университет, 2020

## ПРЕДИСЛОВИЕ



Высшая школа по-прежнему является ключевым центром развития науки в нашем государстве. Помимо основной, устоявшейся задачи вуза по передаче обществу знаний в форме обучения и подготовки кадров для удовлетворения потребностей экономики современный вуз должен оказывать непосредственное влияние на развитие фундаментальных знаний, а также создание и внедрение инноваций.

Среди ключевых результатов научно-исследовательской работы коллектива Волгатеха можно отметить общий объем выполненных работ и услуг, который составил в 2019 году более 140 млн руб., в том числе объем научно-исследовательских работ университета 128,3 млн руб. В рамках Государственного задания Минобрнауки Российской Федерации в сфере научной деятельности по прикладным исследованиям выполнены две НИР на сумму более 10 млн руб.; по фундаментальным исследованиям завершены работы по шести НИР на общую сумму 19,9 млн руб.

Волгатех стал победителем Конкурса молодежных проектов среди образовательных организаций высшего образования, в рамках которого получено 4 млн руб. федеральных средств. Получено финансирование по ведомственной целевой программе «Развитие интегрированной системы обеспечения высококвалифицированными кадрами организаций оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации» («Кадры ОПК») на сумму 4,7 млн руб.

Не снижается активность изобретательской деятельности наших ученых. В отчетном году университетом подано 68 заявок на объекты интеллектуальной собственности (ОИС), в том числе 12 заявок на программы для ЭВМ и базы данных, 13 – на полезные модели и 43 заявки на изобретения. Было получено 63 охранных документа, в том числе 47 патентов на изобретение, 9 патентов на полезную модель, 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных. В соавторстве с обучающимися получены 50 охранных документов на объекты интеллектуальной собственности. Продолжается плодотворная работа регионального представительства организации Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов (ВОИР). В рамках Центра поддержки технологий и инноваций первого уровня, действующего на базе вуза, осуществляется оказание консультационной помощи изобретателям по вопросам охраны объектов интеллектуальной собственности (ИС): доступ к патентным и непатентным (научно-техническим) онлайн-ресурсам и публикациям по вопросам ИС; помощь в проведении поиска и получении технической информации; обучение поиску по базам данных; мониторинг уровня развития технологии и поведения конкурентов; предоставление базовой информации о законодательстве, принципах использования и стратегии в области промышленной собственности, а также о методах коммерциализации и маркетинга технологии.

Продолжается планомерная работа, направленная на повышение публикационной активности сотрудников вуза. Проведены серии семинаров и вебинаров с ведущими специалистами по вопросам выбора научных журналов и подготовки научных публикаций. За 2019 год учеными вуза опубликовано более 2410 работ в научных журналах, сборниках и других изданиях, в том числе 350 статей в журналах из перечня ВАК, ин-

дексируемых в Российском индексе научного цитирования. В журналах, индексируемых в наукометрической базе Web of Science Core Collection, опубликованы 49 работ, и 120 публикаций индексированы в базе данных Scopus. Университет издает 8 научных журналов, пять из которых включены в Перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Лауреатами Государственных премий Республики Марий Эл в области литературы, искусства, архитектуры, науки и техники за 2018-2019 годы стали два научных коллектива вуза, получившие премии за монографию «Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл» и за разработку и внедрение в производство роботизированного экзоскелета медицинского назначения «Remotion».

Дальнейшая модернизация научно-исследовательской и инновационной деятельности ПГТУ направлена на усиление научных коллективов и школ, расширение научной коммуникации и международной коллаборации, создание производственных и научных центров, позиционирующих университет как ведущую научную, инновационную и промышленную площадку Республики Марий Эл. Развитие лабораторной, научной и технологической базы проводится в соответствии с планами развития учебных и научно-технологических центров вуза. Среди основных планов на ближайшую перспективу можно выделить создание и развитие инжинирингового центра «Порошковая металлургия в наукоемких и высокотехнологичных отраслях промышленности», реализующего «замкнутый цикл» инжиниринговых услуг: от разработки новых металлических порошковых материалов и технологий их переработки до проектирования и производства изделий на их основе в наукоемких и высокотехнологичных отраслях промышленности, в том числе в транспортной, строительной, энергетической, нефтегазовой, нефтехимической отраслях и биомедицине. Основными партнерами по проекту создания и развития инжинирингового центра являются предприятия порошковой металлургии Республики Марий Эл ЗАО «Метма», ООО «Наномет», АО «ОКТБ «Кристалл».

Доброй традицией нашего вуза является ежегодный выпуск сборника научных статей «Труды Поволжского государственного технологического университета», где находят отражение основные научные достижения ученых и преподавателей вуза, представленные на научной конференции «Исследования. Технологии. Инновации».

В предлагаемом вниманию читателя восьмом выпуске «Трудов ПГТУ» изложены результаты научно-исследовательской деятельности профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и сотрудников вуза за 2019 год.

Сборник традиционно состоит из двух серий: технологической и социально-экономической. Данная серия сборника – Технологическая. В ней представлены статьи по следующим направлениям научных исследований:

- лес, экология и природопользование;
- транспорт, энергетика, машиностроение;
- радиотехнические, инфокоммуникационные и медико-биологические системы;
- информационные технологии и системы;
- строительство и архитектура;
- биологические и естественные науки. Инженерия окружающей среды.

**Д. В. Иванов**  
*проректор ПГТУ по научной работе,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук,  
ответственный и научный редактор сборника*

# ЛЕС. ЭКОЛОГИЯ. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 598.2

## ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОРНИТОФАУНЫ, НЕ ОТНЕСЕННОЙ К ОБЪЕКТАМ ОХОТЫ, В УСЛОВИЯХ МАРИЙСКОГО ПОЛЕСЬЯ

*Мальков Юрий Гаврилович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
MalkovYG@volgatech.net

*Исследованы видовой состав и плотность орнитофауны, не отнесенной к объектам охоты в основных биотопах Марийского Полесья. Выявлены тенденции распределения видового состава в зависимости от типа биотопа, структуры лесных насаждений, формирующих кормовые, защитные и гнездопригодные условия.*

**Ключевые слова:** орнитофауна, видовое разнообразие, учет, биотопы, численность.

Устойчивость экологических систем определяется многими факторами, одним из которых является биологическое разнообразие фаунистических видов, среди которых существенная роль принадлежит орнитофауне.

В условиях Республики Марий Эл исследованиям видового состава орнитофауны посвящены работы ряда зоологов и орнитологов (Иванов, 1983; Ефремов, Балдаев, 1985; Корнеев, Забиякин, Бедова, 2010).

**Цель работы** – определение видового состава и численности наиболее типичных видов орнитофауны, не отнесенной к объектам охоты, в условиях Марийского Полесья.

**Практическая значимость** работы заключается в получении информации о видовом разнообразии, составе и численности видов орнитофауны, не отнесенных к объектам охоты, в условиях Марийского Полесья и определения на этой основе практических мер по их охране.

**Методика исследования.** Исследованиями охвачены наиболее типичные основные биотопы трех муниципальных районов Республики Марий Эл (Медведевского, Килемарского, Звениговского), территории которых согласно физико-географическому районированию [4] входит в состав Марийской низменности (Марийского Полесья). Данная территория представлена сосновыми борами, смешанными елово- и сосново-лиственными насаждениями. Елово-пихтовые леса с элементами широколиственных лесов встречаются фрагментарно.

Орнитологические исследования проводились в течение 2011-2015 годов и охватывают наиболее типичные основные биотопы, сходные по ряду признаков. При характеристике биотопов использован лесоводственный подход с описанием лесных биотопов по обобщенным лесоводственным показателям. В качестве основных биотопов определены лесные участки хвойных и лиственных молодняков, спелых смешанных насаждений с преобладанием ели и сосны, луговые и водные биотопы, включая прибрежные зоны (пойменные дубравы). Общая площадь исследуемых участков, включая водную акваторию и прибрежные зоны, составила около 4 тыс. га.

Учет видового состава и численности птиц проводился в весенне-летний период на орнитологических маршрутах (Равкин, Доброхотов, 1963; Равкин, 1967; Равкин, 1986) по голосам, при этом учитывались и все встречи с птицами. При возникновении трудностей в определении вида использовались фотофиксация с последующим определением по определителям, а также сравнение записанных на аудиофиксацию голосов птиц с аналогичными видами из фонотеки голосов животных им. проф. Б.Н. Вепринцева.

Расстояние до встречаемых визуально на учете птиц определялось в момент обнаружения, когда птица только увидена или услышана, по прямой между учетчиком и птицей (группой птиц).

Во время учетов оценивалось пройденное с учетом расстояние в километрах и чистое время учета в часах. Расчет плотности населения птиц выполнен для каждого из учтенных видов в отдельности по следующей формуле:

$$N \text{ вида} = (n_1 \times 40) + (n_2 \times 10) + (n_3 \times 3) / L, \quad (1)$$

где  $N$  вида – количество особей на  $1 \text{ км}^2$ ;  $n_1 - n_3$  – число особей, зарегистрированных в полосах обнаружения соответственно 0-25 м, 25-50 м, 50-100 м и более; 40, 10, 3 – пересчетные коэффициенты;  $L$  – учетный километраж, км.

Для сравнительной оценки видового разнообразия нами использованы:

а) индекс оценки вероятности принадлежности любых двух особей, случайно отобранных из неопределенно большого сообщества, к разным видам как показатель доминирования – индекс Симпсона (2)

$$D_s = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{n_i^2}{N}, \quad (2)$$

где  $n$  – число особей  $i$ -го вида;

$N$  – число особей в пробе.

б) индекс определения вероятности наступления цепи событий – индекс разнообразия Шеннона

$$H = - \frac{1}{\lg 2} \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \lg \frac{n_i}{N}, \quad (3)$$

где  $n$  – число особей  $i$ -го вида;

$S$  – число видов;

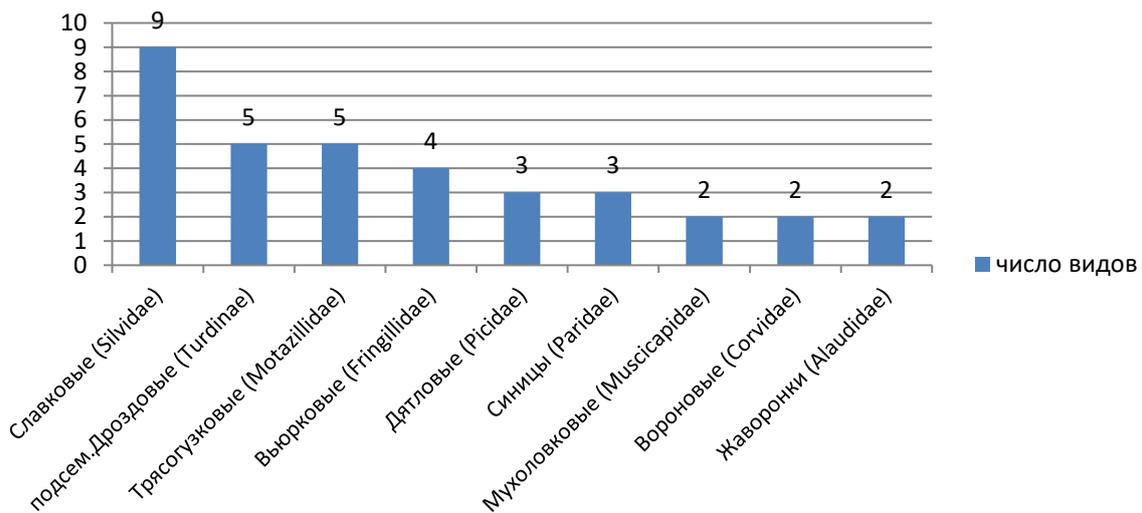
$N$  – число особей в пробе.

Расчеты индексов биоразнообразия выполнены с использованием компьютерной программы «Statistica», разработанной В.Л. Гороповым и представленной кафедрой зоологии Марийского государственного университета.

**Результаты исследования.** Условия местообитания птиц в ключевых биотопах Марийского Полесья определяются совокупностью целого ряда факторов, образующих сложный экологический комплекс, среди которых основными являются климатические и погодные условия, характер растительности, в т.ч. водной, определяющей кормовые, защитные и гнездопригодные условия для пернатых.

Как показали наши исследования, видовой состав орнитофауны лесных, луговых, водных биотопов и прилегающих к ним территорий весьма различен и в основном сосредоточен в опушечной части лесных биотопов, сложных по своей структуре – на участках древесно-кустарниковой растительности, чаще смешанного состава (сосна, береза, ель, дуб, осина, ольха, ива, крушина и т.п.), и травянистой растительности (камыш, рогоз, тростник), с наличием подлеска, с высокой или средней вертикальной и горизонтальной сомкнутостью и чередующихся с участками открытых пространств.

Густота подлеска здесь является одним из определяющих факторов. В таких условиях отмечены наибольшее видовое разнообразие и высокая плотность орнитофауны (11-17 видов). В прибрежных зонах, лишенных древесно-кустарниковой и травянистой растительности, встречается наименьшее количество видов – от 4 до 8.



**Рис. 1. Распределение общего числа видов в исследуемых районах по семействам**

*Примечание.* Семейства Голубеобразные (Columbidae), Иволги (Oriolidae), Ткачиковые (Ploceidae), Крачки (Sternidae), Кукушки (Cuculidae), Ласточки (Hirundinidae), Овсянковые (Emberizidae), Поползни (Sittidae), Ржанковые (Charadriidae), Скворцы (Sturnidae), Совы (Strigidae), Стрижи (Frodidae) представлены по одному виду

Всего в водных биотопах и прибрежных зонах выявлен 41 вид (видовые названия приведены по Л.С. Степанян, 1990), из которых наиболее распространенными являются озерная чайка (*Larus ridibundus*) – плотность от 6 шт/км<sup>2</sup> до 300 шт/км<sup>2</sup>, серая ворона (*Corvus cornix*) – от 10 до 300 шт/км<sup>2</sup>, деревенская ласточка (*Hirundo rustica*) – 40-208 шт/км<sup>2</sup>, белая трясогузка (*Motacilla alba*) – 154-400 шт/км<sup>2</sup>, полевой воробей (*Passer montanus*) – до 208 шт/км<sup>2</sup>.

Меньшее разнообразие отмечено по таким видам, как лесной конек (*Anthus trivialis*) – плотность до 123 шт/км<sup>2</sup>, желтая трясогузка (*Motacilla flavia*) – до 100 шт/км<sup>2</sup>, черная

крачка (*Chlidonias nigra*) – 10-50 шт/км<sup>2</sup>, луговой чекан (*Saxicola rubetra*) и полевой жаворонок (*Alauda arvensis*) – до 46 шт/км<sup>2</sup>, речная крачка (*Sterna hirundo*) – 14-30 шт/км<sup>2</sup>.

Такие виды, как серая цапля (*Ardea cinerea*), речной сверчок (*Locustella fluviatilis*), полевой конек (*Anthus campestris*), обыкновенная овсянка (*Emberica citronella*), коростель (*Crex crex*) представлены единичными представителями.

Прибрежная растительность водных биотопов является определяющим фактором, влияющим на видовой состав и плотность орнитофауны. Наличие здесь единичных деревьев или небольших участков насаждений с хорошо развитым подлеском, живым напочвенным покровом, состоящим преимущественно из высокостебельных видов, включая рогоз, камыш, тростник повышают видовое разнообразие и численность птиц.

Из дневных хищников отмечены черный коршун (*Milvus korshun* Gm.), канюк (*Buteo buteo*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*). Их плотность составила в среднем от 0,4 шт/км<sup>2</sup> до 1,4 шт/км<sup>2</sup>, что соответствует среднестатистическим показателям для наших условий.

Наибольшее видовое разнообразие и плотность птиц отмечены в пойменной части реки Илеть и Большой Кундыш, где в пойменных дубравных типах леса выявлено соответственно 30 и 24 видов, а наибольшую плотность заселения показали такие виды, как белая трясогузка (*M. alba*) – 129 шт/км<sup>2</sup>, зяблик (*Fringilla coelebs.*) – 100 шт/км<sup>2</sup>, пеночка-теньковка (*Phylloscopus collybita*), дрозд-рябинник (*Turdus pilaris*), полевой воробей (*P. montanus*) – до 86 шт/км<sup>2</sup>, синица-московка (*Parus ater*) – 57 шт/км<sup>2</sup>. Такая плотность объясняется сложной структурой насаждений смешанного состава с хорошо развитым подлеском и подростом, создающими достаточно хорошие гнездопригодные, кормовые и защитные условия.

Соотношение численности видов и индексов биоразнообразия по основным биотопам представлено в таблице.

**Число видов орнитофауны и биологическое разнообразие видов в основных биотопах Марийского Полесья**

Административный район	Показатели	Основные биотопы					
		Еловые насаждения	Спелые сосновые	Сосновые молодые	Смешанные хв.-листв. насаждения	Околоводный биотоп	Полевой биотоп
Медведевский	Число видов	21	19	7	-	17	18
	Индекс Симпсона	0,89	0,92	0,79	-	0,73	0,87
	Индекс Шенона	3,65	3,85	2,38	-	2,85	3,3
Килемарский	Число видов	21	21	6	25	13	16
	Индекс Симпсона	0,73	0,92	0,82	0,78	0,89	0,91
	Индекс Шенона	2,94	3,93	2,52	2,66	3,41	4,05
Звениговский	Число видов	-	22	10	13	29	20
	Индекс Симпсона	-	0,87	0,79	0,88	0,94	
	Индекс Шенона	-	3,46	2,58	3,27	4,34	

**Выводы.** Сравнение индексов биоразнообразия в различных биотопах не показывает четко выраженных тенденций изменения биоразнообразия орнитофауны, однако в пределах более или менее однородных лесных биотопов показатели относительно схожи между собой (спелые сосновые насаждения и сосновые молодняки). Различия в индексах биоразнообразия околородного биотопа на территории разных муниципальных районов объясняются различной структурой биотопов, в которых были учтены виды орнитофауны.

Учтенные виды орнитофауны при установленной их плотности уверенно можно отнести к наиболее типичным для условий Марийского Полесья. Единичные представители отдельных семейств, установленные в ходе натурных исследований, целесообразно отнести к редким и, следовательно, необходимо определить меры по их сохранению, включая охрану среды их обитания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства природных ресурсов, экологии и охраны окружающей среды Республики Марий Эл.*

#### Список литературы

1. Очерки о животных Марийской АССР / сост. Н. В. Иванов. Йошкар-Ола: Марийск. книж. изд-во, 1983. 148 с.
2. Ефремов П.Г., Балдаев Х.Ф. Животный мир Марийской АССР / Птицы. Йошкар-Ола: Марийск. книжн. изд-во, 1985. 158 с.
3. Видовой состав, численность и состояние популяций позвоночных животных (за исключением объектов, отнесенных к объектам охоты, а также водных биологических ресурсов) в Юринском и Горномарийском районах Республики Марий Эл: отчет о научно-исследовательской работе / В. А. Корнеев, В. А. Забиякин, П. В. Бедова и др. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. 70 с.
4. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / под ред. А.В. Ступишина. Казань: Издательство Казанского университета, 1964. 196 с.
5. Энциклопедия Республики Марий Эл. Йошкар-Ола, 2009. С. 49-80.
6. Равкин Ю.С., Доброхотов Б.П. К методике учета птиц лесных ландшафтов во внегнездовое время // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. Москва, 1963. С. 130-136.
7. Равкин Ю.С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967. С. 66-75.
8. Равкин Ю.С. Сезонная динамика показателей видового разнообразия населения птиц смешанных лесов Подмосковья. Актуальные проблемы орнитологии. Москва: Наука, 1986. С. 235-239.
9. Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны СССР. Москва: Наука, 1990. 728 с.

#### **SPECIES DIVERSITY OF THE AVIFAUNA, NOT RELATED TO HUNTING, IN TERMS OF WOODLAND MARI**

*Malkov Yuri Gavrilovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*It was investigated the species composition and density of non-hunting ornithofauna in the key biotopes of Mari Polesye. There were found some features of distribution of species composition in dependent on the type of biotopes and foreststructure which form fool sites, protecting conditions and places for nests.*

**Keywords:** *ornithofauna, key biotope, the species composition.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЗАЧЕРПЫВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРИ НАБОРЕ ПАЧКИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПРИВОДНЫМ ГРЕЙФЕРОМ

*Никишов Юрий Гаврилович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

*В статье приводятся результаты исследований зачерпывающей способности и энергозатрат канатного грейфера при наборе пачки круглых лесоматериалов в зависимости от породы древесины и её плотности, полученных Ю.А. Виноградовым в лабораторных условиях на модельных брёвнах. Выявлено, что зачерпывающая способность грейфера уменьшается, а энергозатраты увеличиваются в среднем на 13 %. В реальных условиях эксплуатации грейферов результаты экспериментальных исследований, полученных Ю.А. Виноградовым, не проверялись. Автором совместно с А.Д. Бондаренко проверены результаты лабораторных исследований в производственных условиях эксплуатации приводного грейфера МЛТИ 20 – 10ВЛ на нижнем складе Волоколамского лесокомбината г. Волоколамска Московской области. Полученные результаты натурных испытаний близки к результатам Ю.А. Виноградова.*

**Ключевые слова:** *грейфер, зачерпывание, пакет брёвен, центр тяжести пакета, мощность на зачерпывание, коэффициент приведённой мощности.*

**Введение.** В настоящее время в связи с ростом цен на все существующие энергоресурсы встаёт вопрос о снижении энергозатрат на зачерпывание и погрузку насыпных грузов и древесины грейферными механизмами, установленными в качестве грузозахватных органов на грузоподъёмные машины. Рассматриваемая здесь тема мало освещена в технической литературе, посвященной грузоподъёмным машинам и грейферным механизмам. Изучением данного вопроса занимались А.Д. Бондаренко, Ю.А. Виноградов, Г.Е. Шуть и автор данной статьи [1-4, 6-8].

Ю.А. Виноградов исследовал влияние плотности древесины при зачерпывании из штабеля круглых лесоматериалов хвойных пород в лабораторных условиях [3, 4]. Влияние плотности древесины лиственных пород на зачерпывающую способность и энергозатраты грейфера ученым не проверялись. В качестве зачерпываемого материала использовали точечные брёвна из ели диаметром 50 мм, длиной 1300 мм и плотностью  $\gamma = 0,32 \text{ т/м}^3$  с добавлением металлических утяжелителей. Таким образом, полученная плотность древесины имела следующие значения:  $\gamma_1 = 0,32 \text{ т/м}^3$ ;  $\gamma_2 = 0,36 \text{ т/м}^3$ ;  $\gamma_3 = 0,4 \text{ т/м}^3$ .

В опубликованной статье приводится график влияния плотности древесины на работу по зачерпыванию и на коэффициент удельных энергозатрат,  $C_0$ . Так, при плотности  $\gamma_1 = 0,32 \text{ т/м}^3$  работа на зачерпывание составила  $A_1 = 25,2 \text{ кГ}\cdot\text{м}$  и коэффициент удельных энергозатрат  $C_0 = 0,0000019 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ . При плотности  $\gamma_2 = 0,36 \text{ т/м}^3$  работа на зачерпывание составила  $A_2 = 26,1 \text{ кГ}\cdot\text{м}$  и  $C_0 = 0,0000020 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ . При плотности  $\gamma_3 = 0,4 \text{ т/м}^3$  работа на зачерпывание составила  $A_3 = 28,94 \text{ кГ}\cdot\text{м}$  и  $C_0 = 0,000002015 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ . Из графика видно, что увеличение первоначальной плотности древесины, определяемой коэффициентом плотности  $K_{\text{п}} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ , на 11 % вело к увеличению работы на зачерпывание

и коэффициента удельных энергозатрат  $C_0$  на 5 %, а увеличение первоначальной плотности  $\gamma_1$  до плотности  $\gamma_3$ , т.е. на 25 %, вело к увеличению работы на зачерпывание и коэффициента  $C_0$  на 13 %.

В статье А.Д. Бондаренко [2] теоретически исследовалось влияние физико-механических свойств древесины (7 свойств) на зачерпывающую способность и энергоёмкость процесса зачерпывания. Было отмечено, что наибольшее влияние на удельные энергозатраты  $C_0$  оказывают длина брёвен и плотность древесины. Влияние других факторов (свойств) менее значимо. Как известно, плотность древесины зависит от породы и её влажности. В зависимости от влажности различают древесину воздушно-сухую с влажностью  $W = 11 \div 18$  %; полусухую с влажностью  $W = 18 \div 23$  %; сырую с влажностью  $W = 23 \div 45$  %; свежесрубленную с влажностью  $W \geq 60$  %; сплавную с влажностью  $W \geq 90$  %.

В производственных условиях исследование влияния плотности древесины на зачерпывающую способность и энергозатраты при зачерпывании круглых лесоматериалов из штабеля брёвен грейферами никто не проводил. Поэтому осуществление дальнейших исследований работы грейферов при зачерпывании древесины разной плотности является **актуальной задачей**.

**Цель исследования** – проверка лабораторных экспериментов Ю.А. Виноградова и теоретических выводов А.Д. Бондаренко в производственных условиях эксплуатации грейферов.

*Решение исследовательских задач.* В реальных условиях эксплуатации грейферов на погрузочно-разгрузочных и штабелёвочных работах исследованием влияния плотности древесины на зачерпывающую способность грейферов разных моделей и энергозатрат при наборе пачек лесоматериалов занимались Ю.Г. Никишов, А.Д. Бондаренко, Г.Е. Шуть [8]. Автор статьи и А.Д. Бондаренко исследовали работу электромоторного грейфера, а Г.Е. Шуть исследовал работу одноканатного грейфера при зачерпывании круглых лесоматериалов. Изучением работы приводного электромеханического грейфера марки МЛТИ 20 – 10 ВЛ в производственных условиях занимались упомянутые выше авторы на нижнем складе Волоколамского лесокombината в г. Волоколамске Московской области. Ю.Г. Никишовым исследования проводились с июля по ноябрь (осенне-летний период), а А.Д. Бондаренко – с января по март (зимний период). Грейфером МЛТИ 20 – 10 ВЛ выполнялись зачерпывания неокорённых сортиментов хвойных и лиственных пород длиной 1,6; 2,0; 3; 4; 6 м и разного диаметра из штабеля брёвен с погрузкой в транспортное средство (полувагоны, автомобили). Средняя плотность древесины в летнее время составляла  $\gamma = 0,58$  т/м<sup>3</sup> (ель, осина, липа) и  $\gamma = 0,73$  т/м<sup>3</sup> (берёза) при влажности  $W = 25 \div 45$  %, т.е. сырой древесины из запасов годичной давности.

Из работы А.Т. Вакина [5] известно, что такую влажность древесина приобретает при годичном хранении при благоприятных погодных условиях и достаточно рыхлой укладке. В случае менее благоприятной погоды (дождливое лето, осень) такую влажность древесина приобретает при 2-летнем хранении.

А.Д. Бондаренко исследования проводили также на грейфере МЛТИ 20 – 10ВЛ, что очень важно, так как грейфер с иной формой челюстей будет иметь другую зачерпыва-

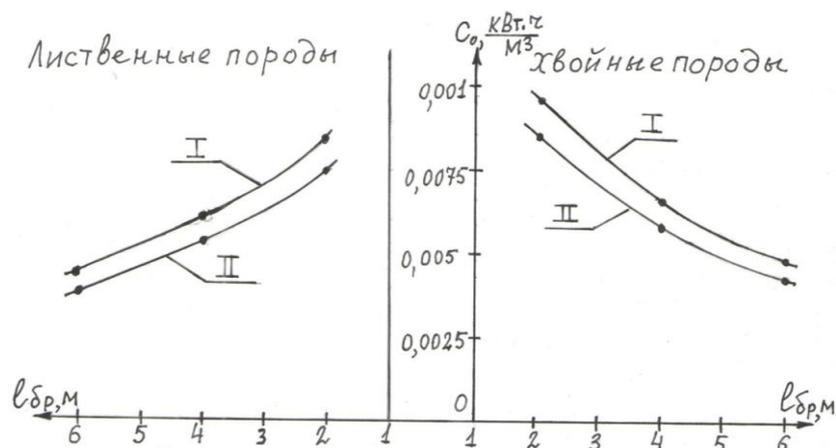
ющую способность и энергозатраты. Средняя плотность древесины зачерпываемых лесоматериалов составляла для ели  $\gamma = 0,713 \text{ т/м}^3$ , для берёзы  $\gamma = 0,92 \text{ т/м}^3$ , для осины  $\gamma = 0,77 \text{ т/м}^3$ , что соответствует плотности свежесрубленной древесины. Грейфером зачерпывались неокорённые лесоматериалы разной длины (1,6; 2; 3,0; 4; 6 м) и диаметров из штабеля с погрузкой в транспортное средство или штабель. При исследованиях авторами определялись зачерпывающая способность и удельные энергозатраты грейфера на набор пачек. Результаты исследований удельных энергозатрат приведены в таблице 1 и на графике (рис. 1), а зачерпывающей способности – в таблице 2 и на графике (рис. 2).

Таблица 1

**Результаты экспериментальных исследований по определению энергозатрат на зачерпывание сортиментов в зависимости от породы и плотности древесины в производственных условиях**

Порода древесины	Длина сортиментов, м	По Ю.Г. Никишову		По А.Д. Бондаренко		Коэффициент плотности, $K_p$	Коэффициент энергозатрат, $K_c$ , %
		Плотность древесины, $\text{кг/м}^3$	Удельные энергозатраты $C_0$ , $\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$	Плотность древесины, $\text{кг/м}^3$	Удельные энергозатраты $C_0$ , $\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$		
Хвойная (ель)	2	580	0,0085	713	0,0096	1,25	13
	4		0,0057		0,0065		
	6		0,0043		0,0048		
Лиственная (берёза)	2	730	0,0075	920	0,0084	1,26	12
	4		0,0053		0,0060		
	6		0,0040		0,0045		

*Примечание.* Коэффициент энергозатрат  $K_c$  определяется как отношение удельных энергозатрат  $C_0$ , полученных А.Д. Бондаренко, к удельным энергозатратам  $C_0$ , полученным Ю.Г. Никишовым, в процентах.



**Рис. 1. Зависимость удельных энергозатрат от породы древесины и длины брёвен:**  
I – по А.Д. Бондаренко; II – по Ю.Г. Никишову

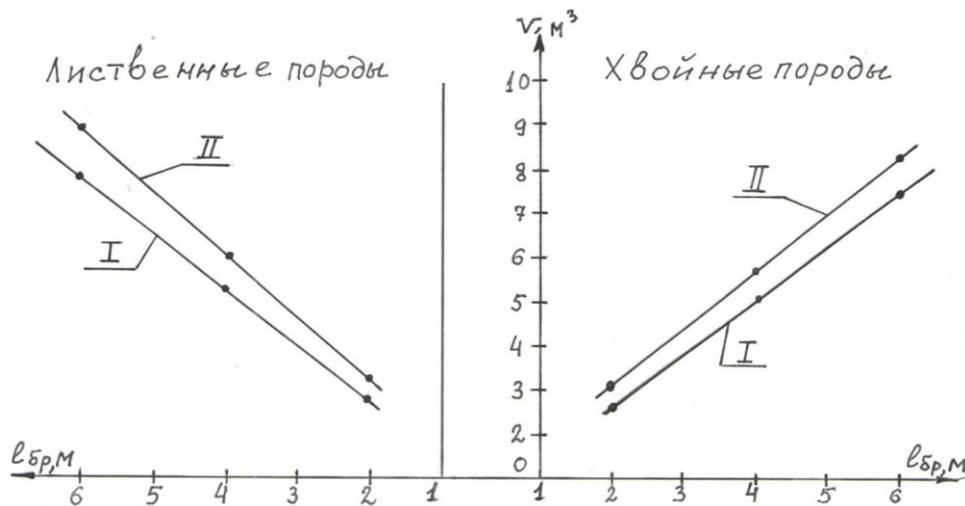
Как видно из таблицы 1 и графика на рисунке 1, полученные значения коэффициента удельных энергозатрат  $C_0$  близки к значениям, полученным Ю.А. Виноградовым в лабораторных условиях.

Таблица 2

**Результаты экспериментальных исследований зачерпывающей способности грейфера  
в зависимости от породы и плотности древесины**

Порода древесины	Длина сортиментов, м	По Ю.Г. Никишову		По А.Д. Бондаренко		K <sub>v</sub> , %
		Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>	Средний объём пачки, м <sup>3</sup>	Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>	Средний объём пачки, м <sup>3</sup>	
Хвойная (ель)	2	580	3,08	713	2,74	12,4
	4		5,74		5,1	12,5
	6		8,3		7,4	12,3
Лиственная (берёза)	2	730	3,4	920	3,0	13,3
	4		5,94		5,3	12,0
	6		8,9		7,85	13,4

*Примечание.* Коэффициент объёма пачки брёвен K<sub>v</sub> определяется как отношение объёма пачки, полученного Ю.Г. Никишовым, к среднему объёму пачки, полученному А.Д. Бондаренко, в процентах.



**Рис. 2.** Зависимость зачерпывающей способности от породы древесины и длины брёвен:  
I – по А.Д. Бондаренко, II – по Ю.Г. Никишову

Как видно из таблицы 2 и графика на рисунке 2, средний объём зачерпнутой пачки брёвен, полученной А.Д. Бондаренко, меньше среднего объёма пачки, полученного Ю.Г. Никишовым примерно на 13 %, что не противоречит результатам, полученным Ю.А. Виноградовым в лабораторных условиях.

Ухудшение зачерпывающей способности грейфера ведёт к снижению его грузоподъёмности и, как следствие, к уменьшению полезной грузоподъёмности крана.

### Выводы

1. Подтверждены результаты лабораторных исследований Ю.А. Виноградова о влиянии плотности древесины на зачерпывающую способность и энергоёмкость грейфера при зачерпывании круглых лесоматериалов в производственных условиях.
2. В зависимости от плотности древесины, её влажности и породы зачерпывающая способность грейфера уменьшается в среднем на 13 %, а энергозатраты при наборе пачки сортиментов увеличиваются в среднем также на 13 %.

3. Недоагрузка грейфера в среднем на 13 % ведёт к уменьшению полезной грузоподъёмности крана и снижению его производительности.

4. Необходимо продолжить исследования влияния плотности древесины на зачерпывающую способность и энергозатраты на набор пачки круглых лесоматериалов грейфером с другой формой челюстей, отличной от трапециевидальной формы грейфера МЛТИ 20 – 10ВЛ.

#### *Список литературы*

1. Бондаренко А.Д. Исследование процесса зачерпывания круглых лесоматериалов приводным грейфером: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва: МЛТИ, 1977. 24 с.
2. Бондаренко А.Д. Экспериментальное исследование грейфера МЛТИ 20 – 10ВЛ // Научные труды. Москва: МЛТИ, 1975. Вып. 75. С. 46 -55.
3. Виноградов Ю.А. Экспериментальное исследование процесса зачерпывания грейфером круглой древесины: сб. работ. Москва: МЛТИ, 1969. Вып. 27. 389 с.
4. Виноградов Ю.А. Исследование силовых характеристик процесса зачерпывания грейфером круглой древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва: МЛТИ. 1970. 16 с.
5. Вакин А.Т. Хранение круглого леса. Москва: Лесная промышленность, 1969. 416 с.
6. Никишов Ю.Г. Обоснование параметров приводных грейферных механизмов для круглых лесоматериалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2000. 24 с.
7. Никишов Ю.Г. Обоснование параметров приводных грейферных механизмов для круглых лесоматериалов: дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 1999. 204 с.
8. Шуть Г.Е. Теоретическое и экспериментальное исследование работы одноканатного грейфера для круглых лесоматериалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва: МЛТИ, 1975. 29 с.

#### **INVESTIGATION OF THE SCOOPING CAPACITY AND ENERGY CONSUMPTION WHEN COLLECTING A PACK OF ROUND TIMBER WITH A DRIVE GRAPPLE**

*Nikishov Yuri Gavrilovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The article presents the results of the research on the scooping capacity and energy consumption of a rope grab when collecting a pack of round timber depending on the wood type and its density obtained by Yu. A. Vinogradov in laboratory conditions on model logs. The scooping capacity of the grapple decreases and the energy consumption increases by an average of 13 %. In real operation conditions of grabs the results of experimental studies obtained by Yu. A. Vinogradov were not checked. The author together with A.D. Bondarenko verified the results of laboratory research in the production condition of the operation of the drive Grapples MLTI 20 -10 VL at the lower warehouse of the Volokolamsk timber processing plant in the city of, Moscow region. The obtained results of field tests are close to the results of Yu. A. Vinogradov.*

**Keywords:** *grapple grapple, scooping capacity, density, specific energy consumption, wood species, and operation conditions.*

УДК 630.36

## РАЗРАБОТКА И КОМБИНИРОВАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРТАЛЬНОГО ХАРВЕСТЕРА И МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАНАТНОГО КРАНА В ЛЕСНЫХ ПРОЦЕССАХ ДЛЯ ПОЛНОСТЬЮ МЕХАНИЗИРОВАННОГО СБОРА ДРЕВЕСИНЫ НА РОВНЫХ МЕСТАХ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ДВИЖЕНИЮ

*Татаринов Денис Сергеевич, Агачева Светлана Владимировна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
denistatarinov4@mail.ru

*Статья посвящена проблеме сохранения лесной почвы и лесной дороги при многократной проходимости современного лесозаготовительного комплекса с целью заготовки и вывозке древесины. Целью работы является поиск способа сохранения лесной почвы и подстилки при заготовке и вывозке древесины. Научная новизна заключается в изменении ходовой части, а именно шасси лесозаготовительного комплекса с последующим его облегчением и нанесением меньшего вреда для лесной почвы и подстилки.*

**Ключевые слова:** лесная почва, лесная подстилка, порталный харвестер, порталный форвардер, кабельный кран

Леса Центральной Европы подвержены высоким социальным, лесным и экономическим требованиям и ожиданиям. Леса являются естественной средой обитания широкой, сетевой и саморегулирующейся богатой видами экосистемы. Но сегодняшние леса в Европе созданы человеком, за редким исключением. Тысячи лет интенсивного использования создали лесное общество в результате охоты, расчистки, использования пастбищ и лесовосстановления, которое кажется естественным, но стало менее зависящим от видов и более восприимчивым к воздействиям окружающей среды, таким как бедствия, погодные явления и т.д. Однако, по сравнению с другими природными территориями в Европе, лес все еще считается относительно нетронутой и богатой видами экосистемой.

Лесной покров является как средой обитания, так и генофондом и имеет большое значение для человека как часть ландшафта и жилого пространства. Тем не менее, он ограничен в своей жизнедеятельности антропологическими воздействиями и не может выйти из этого состояния или выход является очень медленным. Другими опасностями, которые также являются косвенно антропологическими, являются эрозия, потеря органических слоев, уплотнение, засоление, оползни и загрязнение [1].

В Центральной Европе в настоящее время существует два принципиально разных типа лесозаготовительной техники, которые различаются в зависимости от основного метода заготовки древесины.

1) В Центральной Европе, начиная с середины XX века, из-за стремления к рационализации в лесу топор был заменен цепной пилой, а лошадь – буксиром [2].

2) В Скандинавии, которая богата хвойными лесами, совершенно новый тип лесозаготовительного комплекса, разработанный с 1970-х годов. Он включает в себя Харвестер, который производит валку, обрезку сучьев и раскряжевку на сортименты разной

длины, и Форвардер, который производит трелевку сортиментов с лесосеки на погрузочный пункт (эстакаду). Экономическое преимущество использования данного лесозаготовительного комплекса заключается в высокой степени механизации труда.

В результате реализации данного лесозаготовительного комплекса (Харвестер+Форвардер) в лесах Центральной Европы ощутимо возникли следующие проблемы (рисунок 1):

- повреждение лесной подстилки и остальной части растительности, что привело к снижению ценности и устойчивости;
- нарушение структуры почвы с последствием потери роста и снижением функции почвы;
- нарушение почвы из-за недостатка питательных веществ с последующим снижением плодородия;
- нарушение экосистемы [4].



**Рис. 1. Повреждение дороги при частой проходимости лесозаготовительной техники**

Экологическая функциональность лесной почвы возможна только из-за её сложной структуры. Широкополосные материальные циклы и системные цепочки, находящиеся в почве, чрезвычайно чувствительны к антропогенным нарушениям, поэтому любое воздействие на отдельные компоненты экосистемы лесной почвы путем машинного позиционирования неизбежно имеет кратковременные или долгосрочные последствия.

Благодаря многочисленным рабочим циклам, связанным с заготовкой древесины, и сложному позиционированию лесных машин с присущей им высокой массой, каждое изменение местоположения сопровождается повторяющимися процессами ускорения и замедления. Это приводит к значительной динамической нагрузке на грунт, чувствительный к уплотнению, который также работает, когда неподвижная рабочая машина имеет движущийся центр тяжести.

Вследствие этого можно сделать вывод, что использование машин в лесу оставляет серьезные и, прежде всего, долговременные повреждения на очень чувствительной лесной почве. Этот ущерб ограничивает продуктивность почвы и жизнеспособность всей лесной экосистемы и считается нарушением юридически закрепленного принципа устойчивости.

Взаимодействующая система машин должна обеспечивать новые процессы лесного хозяйства, которые должны представлять решения для ограниченной проблемной области, которая до сих пор решалась только неудовлетворительным образом.

В связи с этим была поставлена цель – создать способ передвижения, который позволял бы полностью механизировать заготовку древесины, не вызывая глубокого и долговременного повреждения почвы. На основе изучения научно-технической литературы была создана модель портального Харвестера (рисунок 2) и портального Форвардера (рисунок 3).

Первая машина – портальный Харвестер [5], охватывает первую часть процесса лесозаготовки – валку, обрезку сучьев и раскряжевку на сортименты разной длины. Испытанный и проверенный Харвестер, производящий валку, обрезку сучьев и раскряжевку на сортименты разной длины, был сохранен, а



Рис. 2. Портальный Харвестер

шасси заменено на новый ходовой механизм, который по сравнению со стандартным Харвестером имеет снижение веса на 7.5 тонн. Следовательно, такая машина могла бы эксплуатироваться в местах, которые имеют слабую почву, способную к моментальному разрушению, важно также то, что существует возможность перемещаться с минимальными воздействиями на лесную почву.

Основными недостатками данной конструкции является необходимость доставки ее в труднодоступные места, да и конструктивный результат все еще недостаточно подробен, чтобы его можно было использовать в качестве основы для дальнейшей оценки с заявлениями о его массе, стоимости и производительности прототипа.

Вторая машина – портальный Форвардер [6], который предназначен для реализации второго этапа лесозаготовок, а именно трелевки древесины. Представляет собой систему канатных кранов, в котором груз поднимается кареткой, способной перемещаться по кабелю, подвешенному, по крайней мере, между двумя мачтами. Вовлеченные элементы – тележки, тросы, мачты и якоря – образуют систему, которая идеально подходит для транспортировки пучков сортиментов.

Система машин предназначена для создания новых лесозаготовительных машин, которые адаптированы к

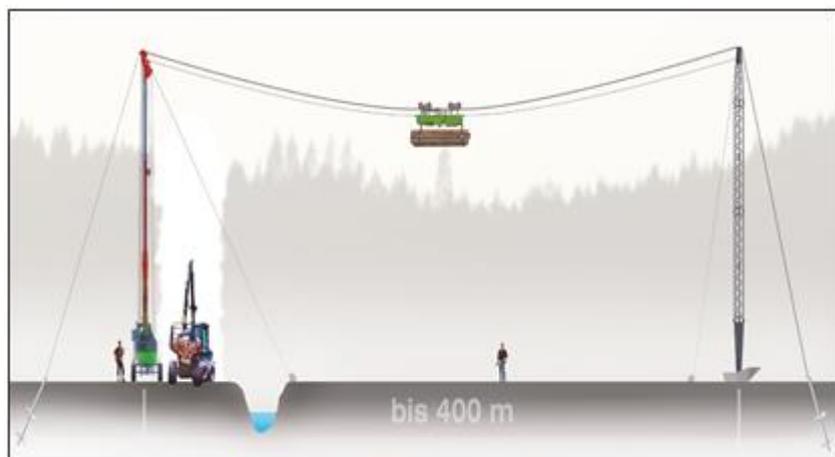


Рис. 3. Портальный Форвардер

условиям использования в центральноевропейских лесных районах. Лесная технология основана не на простых или типичных условиях применения, как раньше, а на более сложных, так что простые и типичные условия могут быть включены и не остаются исключенными, как раньше. Кроме того, в результате экологическое воздействие на лесные насаждения и лесные почвы должно быть настолько минимальным, чтобы была возможна экологически устойчивая эксплуатация лесных технологий.

Описанная выше пара машин обеспечивает ее внешнюю и внутреннюю адаптивность благодаря многочисленным техническим инновациям, которые должны быть сформированы и интегрированы в единую общую структуру в рамках этой работы, с тем чтобы последующее проектирование и разработка пары машин могли проходить гладко [7].

Несмотря на тесное партнерство с устройством для заготовки древесины, система работает независимо от времени. Однако даже с такой процедурной независимостью общая производительность как элементов процесса, так и харвестера и системы кабельного крана должна соответствовать в долгосрочной перспективе. До настоящего времени эти затраты являлись основной причиной того, что системы канатных кранов, защищающих почву, редко используются в низинах или на низких горных хребтах, и вместо этого леса там все больше и больше вырубаются из-за мелкой застройки, требующей значительных площадей, чтобы сделать более экономичные колесные транспортные средства пригодными для использования.

В принципе, транспортировка древесины с помощью канатного крана оказывает гораздо меньшее негативное воздействие на чувствительные участки леса, чем на колесные транспортные средства. Однако система кабельного крана, описанная здесь, имеет дополнительные экологические преимущества по сравнению с обычными системами кабельного крана [8].

Главным образом следует подчеркнуть связь полностью механизированной заготовки древесины с транспортировкой сортиментов древесины с помощью «плоского канатного крана», которая должна реализовывать практически бесконтактную форму транспортировки древесины. Использование искусственных элементов мачты и якоря позволяет отказаться от использования деревьев соответствующего размера. Поскольку каретка может двигаться, когда груз опущен, можно аккуратно провести оставшийся пучок, поскольку можно избежать препятствий.

С помощью практического нагрузочного теста необходимо проверить, в какой степени влажные лесные почвы пригодны для воздействия вертикально расположенного давления. Марка предназначена для имитации тех сил, которые действуют, когда применяется машина, опирающаяся на штатив с собственным весом 12 тонн: приблизительно 40 кН на марку. В зависимости



Рис. 4. Измеритель влажности почвы

от влажности почвы, предел ходьбы представляет особый интерес. Цель состоит в том, чтобы определить степень, в которой экстремальные местоположения, к которым нельзя получить доступ, считаются способными позиционировать себя. Кроме того, должна быть изучена интенсивность воздействия в зависимости от различных форм штампов давления.

В качестве второй неопределенности следует рассмотреть величину растягивающих сил при вытягивании штампа из влажной почвы (эффект всасывания). Модельное исследование при реальных давлениях проводится с площадью поперечного сечения пуансона  $0,245 \text{ м}^2$ , что приводит к давлению  $163,3 \text{ кПа}$  в нагруженном грунте под нагрузкой  $40 \text{ кН}$ .

Эксперимент проводится на влажном участке в лесу Тарандтер, где во время экспериментов (23 августа 2011 г.) содержание влаги в почве изменялось до  $100 \%$ , то есть полное заполнение пор почвы водой. Тип почвы в месте проведения испытаний – исключительно гумусовая коричневая земля. Перед началом испытаний методом штамповки давление влаги в почве нетронутого дна леса измеряется в каждой контрольной точке. Для этого используется измеритель влажности почвы IMKO Trime Pico 64 (рисунок 4). Так называемый метод рефлектометрии во временной области основан на изменении времени прохождения электромагнитной волны в теле почвы, с помощью которой можно определить диэлектрическую проницаемость матрицы почвы. После обнуления датчиков рабочий рычаг экскаватора прикладывает усилие до  $40 \text{ кН}$  и удерживает его до тех пор, пока не прекратится изменение глубины проникновения. Между тем записываются зависящие от времени данные о давлении, натяжении и глубине проникновения [9].

Ввиду ограниченности его объема, это предварительное исследование не выявило каких-либо статистически достоверных утверждений о конкретных предельных значениях и показателях для нагрузки давлением по-разному насыщенным водно-почвенным раствором, но оно выявило решающие качественные взаимосвязи и зависимости. Однако в центре внимания исследования были не почвенно-физические реакции шагающей машины на мокром лесном полу, а исключительно поиск граничных условий планируемого развития машины.

Относительно маленькие отметки давления (результатирующее давление почвы никогда не должно превышать вязаное в разрабатываемой машине) показывают различные впадины в зависимости от влажности почвы, которые составляют от  $40$  до  $200 \text{ мм}$ . На основании полученных данных можно сделать количественные заявления относительно формы профиля опоры и минимального размера сменных опор, которые все еще должны быть связаны с окончательной массой транспортного средства.

Две концепции машины и связанные с ними процедуры, изложенные выше, обеспечивают междисциплинарное, общее решение проблемы. То, что равнинные, труднопроходимые лесные участки не представляют собой нишу, а являются общеевропейским явлением с большим потенциалом, для которого в настоящее время нет достаточно устойчивой экономической технологии, должно подчеркнуть ценность этой работы.

При этом порталный харвестер реализует полностью механизированную обработку запасов, а также предварительную доставку/сортировку в пачках, а кроме того прокладку трассы для последующего удержания канатного крана. В то время как работа с комбайновым краном и агрегатом сопоставима с работой обычного комбайна, позиционирование осуществляется с помощью моста, переходящего от верхнего вагона, и двух стоячих баз, расположенных на его концах. Характерным является возможное сокращение площади, используемой для позиционирования с 20 % до менее 1 % при одновременном отказе от относительных движений и значительном уменьшении необходимой собственной массы до 60 % сопоставимо мощного обычного колесного Гарвестера. При этом запатентованный способ передвижения реализует сертификационную возможность установки от ортогонально идущих стежков, локомотии через траншеи или блочные перекрытия до серпантина на коротких склонах. В то же время в одной установке до 500 м<sup>2</sup> обрабатываемого пространства может быть достигнуто динамически и без какого-либо ущерба для пола.

Система канатного крана, специализирующаяся на взаимодействии 7 отдельных патентов в соответствии с требованиями плоского использования, осуществляет транспортировку полностью механизированной короткой древесины в пучках. Система может быть построена независимо от подходящих деревьев, без сложного планирования, быстро и стандартизировано двумя операторами. Использование искусственной торцевой мачты, которая может быть построена на расстоянии до 400 м от троса наклонной мачты посреди необозримой местности, позволяет реализовать седельные натяжные поля. Новый механизм связывания помогает пассивному бегущему автомобилю быстро и прямо под ним, сохраняя запас со скоростью до 8 м/с на лесную дорогу. Благодаря использованию нового зажима несущего троса он становится тонко позиционируемым [10].

Обе системы машин сконструированы таким образом, чтобы работать как можно лучше. Представленные варианты процедур показывают, что каждая система может работать вместе с обычной для себя лесозаготовительной техникой.

Таким образом, для подавляющего большинства проблемных сайтов могут быть выявлены различные процедуры, в каждой из которых задействована по крайней мере одна из представленных машинных систем.

Оценка соответствующих технологических затрат показывает, что с использованием машинных систем представляется вполне возможным вести доходную экономику даже на проблемных местах. Одновременное применение теоретических результатов в реально функционирующих прототипах, их тестирование и представление на соответствующих специализированных выставках выявило прогресс и возможности развития, а также ограничения и дефицит машинных систем.

#### *Список литературы*

1. LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft): Merkblatt 28 - Eschentriebsterben – Biologie und Behandlung, 2012. Online eingesehen unter <http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-28-eschentriebsterben.pdf>, Zugriff am 15.09.2015.

2. Boston Dynamics: BigDog - The Most Advanced Rough-Terrain Robot on Earth. Online eingesehen unter: [http://www.bostondynamics.com/robot\\_bigdog.html](http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html), o.J., Zugriff am 21.4.2013.
3. Hessen-Forst: Unfallbericht 2008/2009. Herausgegeben vom Landesbetrieb Hessen-Forst. Kassel 2010, Online eingesehen unter: [http://www.hessenforst.de/download.php?file=uploads/dienstleistungen/unfallberichte/hf\\_unfall2008-2009.pdf](http://www.hessenforst.de/download.php?file=uploads/dienstleistungen/unfallberichte/hf_unfall2008-2009.pdf), Zugriff am 4.9.2015.
4. Borchert, H.; Kremer, J.: Unternehmer bevorzugen große Maschinen. In: LWF-aktuell Nr. 59. S. 27-29, 2007.
5. Knobloch, C.: Entwicklungsstudie neuartiger Fortbewegungstechnologien zum bodenschonenden Einsatz auf Waldboden und beispielhafter Entwurf für eine Holzerntemaschine für temporäre Rückegassen. Diplomarbeit der Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion, Zentrum für Technisches Design, 2008
6. Komatsu Forest GmbH: Traktionsseilwinde für Harvester. In: Forst und Technik 10/2009, S. 14 und 15.
7. Päivinen, R.; Lehikoinen, M.; Schuck, A.; Häme, T.; Väätäinen, S.; Kennedy, P.; Folving, S.: Combining Earth Observation Data and Forest Statistics. In: EFI Research Report 14. European Forest Institute (EFI), Joint Research Centre - European Commission. EUR 19911 EN. 101 S, 2001.
8. SkylineXL (Version 15.1) - Skyline profile & payload analysis software for MS Excel 2010. United States Department of Agriculture - Forest Service, Region 6 - Land & Resource Management. Heruntergeladen von: [http://www.fs.usda.gov/detail/r6/landmanagement/resourcemanagement/?cid=fsbdev2\\_027048](http://www.fs.usda.gov/detail/r6/landmanagement/resourcemanagement/?cid=fsbdev2_027048), Zugriff am 4.10.2015.
9. Valmet: Datenblätter zu den Maschinen Komatsu Valmet 911.5 4WD: 16,1 t und Komatsu Valmet 911.5 6WD: 17,3 t. Online eingesehen unter <http://www.komatsuforest.de>, Zugriff am 13.3.2013.
10. Zweifel, O.: Seilbahnberechnung bei beidseitig verankerten Tragseilen. In: Schweizerische Bauzeitung 78(1/2):11, 1960.

**DEVELOPMENT AND COMBINED USE OF A PORTAL HARVESTER AND A MOBILE ROPE  
CRANE SYSTEM IN FOREST PROCESSES, FOR FULLY MECHANIZED COLLECTION  
OF WOOD ON FLAT AREAS THAT ARE SENSITIVE TO MOVEMENT**

*Tatarinov Denis Sergeevich, Agacheva Svetlana Vladimirovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The Article is devoted to the problem of preserving the forest soil and the forest road with multiple passability of a modern logging complex for the purpose of logging and removal of wood. The aim of this work is to find a way to preserve forest soil and litter when harvesting and exporting wood. The scientific novelty consists in changing the main part, namely, the chassis of the logging complex, with its subsequent simplification and causing less damage to the forest soil and litter.*

**Keywords:** *Forest soil, forest floor, portal harvester, portal forwarder, cable crane*

# ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.318

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОРЕЗОНАНСНОГО ГЕНЕРАТОРА

*Богатырев Максим Дмитриевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
BogatyrevMD@volgatech.net

*Предлагается схема магниторезонансного генератора, работающего на основе резонанса напряжений. Выбран оптимальный вариант конструктивного исполнения элементов разрабатываемого устройства. Использование генератора с резонансным контуром позволит увеличить эффективность его работы.*

***Ключевые слова:** магниторезонансный генератор, катушка индуктивности, конденсатор, сердечник катушки, резонанс напряжений.*

**Введение.** Исторически сложилось, что традиционные устройства для выработки электрической энергии используют вращательное движение для перемещения обмоток в магнитном поле. В движение такие устройства приводятся различными движителями: гидротурбинами, газовыми турбинами, ветром и т.д. [1].

Одним из движителей является традиционный двигатель внутреннего сгорания. В таких движителях химическая энергия топлива проходит многократные преобразования: сначала в поступательное движение поршней, а затем во вращательное движение коленчатого вала. Необходимость такого преобразования приводит как к механическим потерям, так и к усложнению конструкции движителя в целом.

На практике для уменьшения этих потерь и упрощения конструкции используют приводные механизмы, в которых отсутствует кривошипно-шатунный механизм. Здесь продольное движение магнитного сердечника происходит внутри цилиндрического корпуса с расположенными на нем катушками. Отсутствие кривошипно-шатунного механизма обусловлено наличием двух поршней, жестко закрепленных между собой одним шатуном. Для компенсации возникающих усилий устанавливаются дополнительные внешние поршни. Возникающие инерционные усилия от движущихся поршней взаимно гасятся и на корпус не передаются. Сама идея использования возвратно-поступательного движения для выработки электрического тока без промежуточных преобразований не нова. Такие механизмы получили название линейных генераторов [2].

Линейные генераторы (ЛГ) имеют ряд и преимуществ, и недостатков по сравнению с традиционными двигателями внутреннего сгорания.

Преимущества:

- производство и сборка ЛГ существенно упрощается из-за отсутствия в их конструкции распределительного и коленчатого вала;
- уменьшение расхода топлива за счет увеличения механического КПД из-за отсутствия коленвала и распредвала;
- уменьшение вибрации за счет взаимного гашения возникающих инерционных сил.

Недостатки:

- неравномерность скорости перемещения магнитов относительно катушек приводит к искажению синусоиды генерируемого тока;
- повышенная неустойчивость работы ЛГ из-за наличия всего двух цилиндров и отсутствия маховика;
- недостаточная величина тока вследствие работы источника не в оптимальном режиме

**Цель работы** – спроектировать электрическую установку, обладающую лучшими выходными параметрами по току по сравнению с имеющимися аналогами.

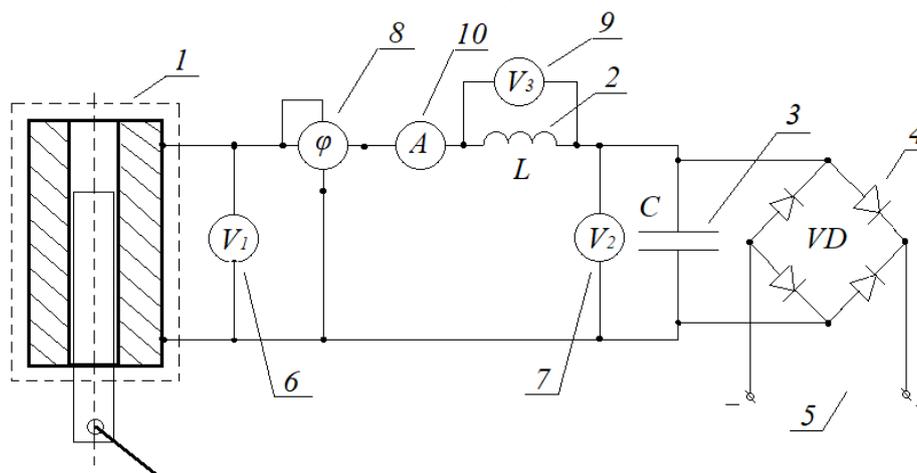
**Решаемые задачи:** 1) увеличение выходного рабочего тока за счет включения в электрическую схему резонансного контура (подобранной емкости и индуктивности для последовательной цепи); 2) включение в цепь мостового выпрямителя для обеспечения возможности подключения электроприемников постоянного тока.

**Предлагаемые схемно-конструктивные решения.** Предлагается принципиальная электрическая схема магниторезонансного генератора, в котором между однофазным источником (индуктивной катушкой с ферромагнитным сердечником) и нагрузкой устанавливается последовательный резонансный контур. Электрические параметры контура (индуктивность и емкость) подобраны под частоту источника.

**Краткое описание проекта.** Новизна работы заключается в том, что в предлагаемой конструкции сложный линейный генератор заменен индуктивной катушкой с ферро магнитным сердечником, а между ней (однофазным источником переменной ЭДС заданной частоты) и электрической нагрузкой устанавливается последовательный резонансный контур с мостовым выпрямителем на выходе. Электрическая схема магниторезонансного генератора изображена на рисунке 1.

Магниторезонансный генератор состоит из однофазного источника переменной ЭДС (катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником) 1, подключенного к ней последовательного резонансного контура. Он включает в себя катушку индуктивности 2 и конденсатор 3. Параллельно емкости 3 невозможно включить переменную нагрузку, т.к. это приведет к искажению выходных параметров и нарушению работы устройства в целом. Параллельно емкости устанавливается мостовой выпрямитель 4, который собирается на 4-х одинаковых диодах и имеет весьма высокий КПД. Он не оказывает воздействия на работу резонансного контура в целом. Электрическая нагрузка постоянного тока подключается на выходные зажимы 5. Конструкция электрической

установки содержит измерительные приборы. Вольтметр 6 служит для измерения входного напряжения резонансного контура, получаемого от источника 1. Вольтметр 7 измеряет напряжение на конденсаторе 3. Вольтметр 9 измеряет напряжение на катушке индуктивности 2. Для измерения тока в последовательной цепи используется амперметр 10. Для контроля наступления резонанса напряжений в цепи используется фазометр 8. Он включается между источником 1 и резонансным контуром и показывает угол сдвига на векторной диаграмме цепи  $\varphi$  между током и входным напряжением.



**Рис. 1. Электрическая схема магниторезонансного генератора:**

1 – источник переменной ЭДС (катушка с ферромагнитным сердечником и приводом); 2 – катушка индуктивности; 3 – конденсатор; 4 – диодный мост; 5 – выходные зажимы устройства; 6 – вольтметр, измеряющий входное напряжение цепи; 7 – вольтметр, измеряющий напряжение на конденсаторе; 8 – фазометр; 9 – вольтметр, измеряющий напряжение на катушке; 10 – амперметр, измеряющий ток в цепи

Магниторезонансный генератор работает следующим образом: приводной механизм заставляет сердечник катушки 1 совершать возвратно-поступательные движения с заданной частотой. ЭДС, индуцируемая катушкой, изменяется во времени по синусоидальному закону с частотой, равной частоте возвратно-поступательных движений сердечника. Таким образом, рассматриваемая цепь оказывается подключенной к однофазному источнику переменной ЭДС.

Цепь представляет собой последовательное соединение катушки индуктивности 2 и конденсатора 3. Из теории однофазных линейных электрических цепей [3] известно, что при определенной частоте сети  $f$  и сопротивлениях катушки  $X_L$  и конденсатора  $X_C$  может возникнуть явление резонанса напряжений. Он возникает при равенстве сопротивлений

$$X_L = X_C.$$

Резонанс характеризуется резким повышением тока в цепи  $I = \max$ . В дорезонансном и послерезонансном режиме ток принимает меньшие значения. С практической точки зрения резонанс напряжений – наиболее эффективный режим работы однофазной цепи переменного тока как по мощностным, так и по экономическим параметрам.

Резонанс можно получить искусственно, меняя параметры приемников  $X_L$  и  $X_C$ .

Сопротивление катушки  $X_L$  прямо пропорционально ее индуктивности

$$X_L = \omega \cdot L,$$

где  $\omega$  – угловая частота тока в цепи, рад/с;  $L$  – индуктивность катушки, Гн.

Сопротивление конденсатора обратно пропорционально его емкости

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C},$$

где  $C$  – емкость конденсатора, Ф.

С учетом того, что угловая частота  $\omega = 2\pi \cdot f$ , где  $f$  – частота тока в цепи, Гц, при резонансе можно приравнять

$$2\pi \cdot f \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}.$$

Из этого выражения следует, что наступления резонанса при заданной частоте можно добиться, меняя индуктивность катушки и емкость конденсатора.

При резонансе напряжений цепь обладает наименьшим полным сопротивлением  $Z$ , Ом.

Полное сопротивление цепи определяется выражением

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2},$$

где  $R$ , Ом – активное сопротивление катушки.

Реактивное сопротивление цепи  $X$ , Ом определяется выражением

$$X = X_L - X_C.$$

При резонансе  $X = 0$ , а  $Z = \min$ . При этом ток в цепи принимает максимальное значение

$$I = \frac{U}{Z} = \max.$$

На практике резонанс напряжений вреден и даже опасен, т.к. резкое увеличение тока в цепи может сопровождаться выходом из строя технологического оборудования. Однако резонанс позволяет отдавать максимальную мощность при максимальном токе в нагрузку. Работа цепи при сетевых частотах, близких к резонансным, позволяет устройству работать в режиме, близком к оптимальному. При неизменных параметрах  $X_L$  и  $X_C$  сетевая частота, которую должен обеспечить генератор для наступления резонанса, определяется из выражения

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}.$$

Меняя емкость батареи конденсаторов, цепь настраивается на резонанс или близкий к нему режим работы при изменении приводной частоты. Момент наступления резонанса показывают измерительные приборы: фазометр  $\delta$  и амперметр  $I_0$  (см. рис. 1).

Фазометр, установленный на входе цепи, позволяет отслеживать отклонения работы цепи от резонансного режима по углу сдвига  $\phi$  между током и входным напряжением в цепи.

Покажем соотношения напряжений в цепи при резонансе на векторной диаграмме, изображенной на рисунке 2.

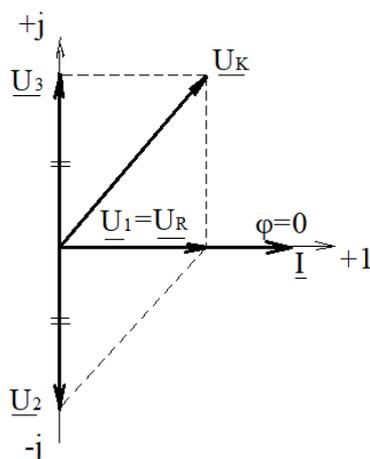


Рис. 2. Векторная диаграмма цепи при резонансе

Анализируя векторную диаграмму, можно сказать, что чем меньше активное сопротивление  $R$  катушки 2 (см. рис. 1), тем меньше будет общее сопротивление цепи  $Z$ . При этом ток в цепи станет иметь максимальное значение. Следовательно, цепь будет развивать максимальную мощность, а значит, будет работать с максимальной эффективностью.

Необходимо отметить, что в традиционных линейных генераторах электрическая нагрузка присоединяется непосредственно на клеммы самого генератора, а в предлагаемой конструкции энергия к нагрузке передается через резонансный контур.

Нагрузка на цепь не может быть включена непосредственно на конденсатор, т.к. это приведет к изменению общего сопротивления всей цепи. При этом цепь выйдет из резонансного режима и уменьшится общий нагрузочный ток. Режим работы цепи будет отличаться от номинального. На рисунке 1 видно, что нагрузка включается в диагональ моста. Таким образом, нагрузка на цепь может быть только постоянного тока. Это является недостатком предлагаемой конструкции.

Недостатком конструкции также является то, что при неизменных индуктивности и емкости резонансного контура изменение приводной частоты повлечет за собой выход магниторезонансного генератора из режима работы резонанс и уменьшение питающего нагрузку тока. Эта проблема может быть решена путем применения в электрической схеме конденсаторов и катушек с переменными емкостями и индуктивностями. Кроме того, само наличие в схеме резонансного контура и работе дополнительных электроприемников несколько снижает общий КПД установки.

### Выводы

1. Предлагаемая конструкция магниторезонансного генератора решает проблему недостаточности питающего нагрузку тока, т.к. мощность самого генератора трансформируется в резонансном контуре.

2. Электрическая схема обладает преимуществом, по сравнению со схемами традиционных линейных генераторов, за счет использования режима резонанса напряжений при своей работе. Это позволяет увеличить ток в цепи до максимального зна-

чения при резонансе, тем самым обеспечить максимальную эффективность работы устройства.

3. Основное перспективное применение данной схемы – в качестве электрической схемы стационарных линейных генераторов, работающих на жидком топливе.

#### Список литературы

1. Основы современной энергетики: курс лекций для менеджеров энергетических компаний: в 2 частях / под общ. ред. чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. Часть 2. Современная электроэнергетика / Под ред. профессоров А.П. Бурмана, В.А. Строева. Москва: Изд-во МЭИ, 2003. 454 с., ил.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Питер, 2008. 350 с.: ил.
3. Богатырев М.Д. Электрические цепи переменного тока: лабораторный практикум. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2012. 52 с.
4. Электротехника: тестовые задания / сост. М.Д. Богатырев. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. 32 с.
5. Жаворонков М. А. Электротехника и электроника. Москва: Академия, 2010. 377 с.

#### JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS MAGNETIC RESONANCE GENERATOR

*Bogatyrev Maksim Dmitryevich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The scheme of justification of the parameters magnetic resonance generator is proposed. The optimum variant of constructive execution of elements of the developed device is chosen. The use a resonant circuit will improve performance of linear generator.*

**Keywords:** linear generator, resonant circuit, inductor, resonance.

УДК 519.876.5

#### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНО-УДАРНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

*Сидыганов Юрий Николаевич, Онучин Евгений Михайлович,  
Рыбаков Павел Андреевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
onuchinem@volgatech.net

*Описана математическая модель струйно-ударного измельчения, характеризующая в первом приближении взаимосвязь между параметрами процесса измельчения и показателями его эффективности и реализованная в среде AutoLISP. Представлены результаты вычислительных экспериментов.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, AutoLISP, вычислительный эксперимент, струйно-ударное измельчение, эффективность измельчения.

**Введение.** Измельчение представляет собой важную технологическую операцию во многих производственных процессах в различных отраслях промышленности. В агропромышленном и лесном комплексах значительная часть технологических процессов основана на измельчении растительного сырья [1-3]. При измельчении, как правило, решается задача формирования требуемого гранулометрического состава сырья за счёт разделения крупных частиц. Для измельчения используются различные способы, среди которых наибольшее распространение получили раздавливание, разрезание, истирание, и достаточно широкий спектр технологического оборудования [4, 5]. Применительно к измельчению растительного сырья в зависимости от требуемой степени измельчения разработаны дробилки и мельницы различных типов: дисковые, молотковые, шаровые, кулачковые, струйные и другие [6-9].

Перспективным применительно к измельчению растительного сырья, представляющего собой, как правило, анизотропный композитный материал, является струйно-ударный способ измельчения, заключающийся в ударном воздействии на измельчаемый материал твёрдых тел, разогнанных до определённой скорости в потоке воздуха или другого газа.

**Цель** – разработка и исследование имитационной модели взаимодействия частиц, в первом приближении устанавливающей стохастическую взаимосвязь между параметрами процесса струйно-ударного измельчения растительного сырья и показателями его эффективности.

**Решаемые задачи:**

- формализация и идеализация процесса струйно-ударного измельчения растительного сырья твёрдыми телами, разогнанными в потоке газа;
- разработка имитационной модели идеализированного процесса струйно-ударного измельчения растительного сырья и её алгоритмическая реализация;
- разработка плана вычислительного эксперимента на реализованной математической модели струйно-ударного измельчения растительного сырья;
- анализ результатов вычислительного эксперимента.

**Имитационное моделирование.** Струйно-ударное измельчение растительного сырья твёрдыми телами, разогнанными в потоке газа, представляет собой сложный процесс, включающий в себя большое количество взаимодействий различной физической природы. В рамках данной работы рассмотрена упрощенная схема струйно-ударного измельчения, характеризующаяся взаимодействием абсолютно твёрдого ударного тела и прямоугольной однородной пластины из материала с изотропными свойствами.

В соответствии с рассматриваемой схемой измельчаемый материал характеризуется одним параметром, которым является отношение высоты пластины к её ширине. В случайную точку этой пластины попадает твёрдое тело, разогнанное в потоке газов до скорости, достаточной для формирования на пластине единичного разрыва – линейного разрыва с центром в рассматриваемой точке и длиной, равной единице. При этом ориентация линии разрыва на пластине является случайной. Ширина пластины, таким образом, может быть выражена в длинах единичного разрыва. Соответственно рассматриваемая схема определяется двумя параметрами: масштабным параметром, представля-

ющим собой отношение ширины пластины к длине единичного разрыва и параметром формы – отношением её высоты к ширине.

Однослойность пластины измельчаемого материала, как правило, не соответствует практике работы измельчителей и представляет собой идеализацию, допустимую только для исследования рассматриваемого процесса в первом приближении.

При имитационном моделировании приняты следующие идеализирующие допущения:

- твёрдые тела попадают в измельчаемый материал последовательно, строго один за другим, при этом на результат взаимодействия твёрдого тела с измельчаемым материалом не оказывают прямого влияния результаты взаимодействия с измельчаемым материалом предыдущих твёрдых тел;

- каждое твёрдое тело попадает в точку измельчаемого материала, имеющую случайные координаты по осям  $X$  и  $Y$ , равномерно распределённые на промежутках  $[0, a]$  и  $[0, b]$  соответственно;

- в результате попадания твёрдого тела на измельчаемом материале формируется элементарный разрыв, представляющий собой прямую линию фиксированной длины с центром в точке попадания твёрдого тела и ориентированную под случайным углом к горизонтали, величина которого равномерно распределена на промежутке  $[0, 2\pi]$ ;

- элементарные разрывы, появившиеся в результате взаимодействия измельчаемого материала с твёрдыми телами, объединяясь, формируют новые границы частей, на которые разделяется измельчаемый материал.

В соответствии с принятыми допущениями разработан и реализован на языке программирования LISP в среде AutoCAD следующий алгоритм имитационного моделирования измельчения пластины в результате ударного взаимодействия с твёрдыми телами.

Первоначально в соответствии с заданными масштабным параметром и параметром пластины формируется исходная измельчаемая пластина, затем с использованием генератора псевдослучайных чисел формируется единичный разрыв как результат взаимодействия пластины с твёрдым телом, для этого генерируются в соответствии с принятыми законами распределения координаты центра разрыва и его ориентация на пластине.

После формирования контуров единичного разрыва осуществляется анализ его последствий для измельчаемой пластины. Отдельно взятый единичный разрыв может приходиться как на одну часть цельную часть измельчаемой пластины, так и затрагивать несколько соседних частей. В результате формирования разрыва может как происходить отделение новых частей от пластины, так и не происходить. После выполнения анализа в список частей пластины, который ведётся программой, вносятся соответствующие изменения.

В разработанной программе имитационного моделирования не предусмотрено удаление из списка измельчаемых частей исходной пластины тех частей, которые имеют размер меньше некоторой заданной величины; все части пластины всё время моделирования получают единичные разрывы под ударным воздействием твёрдых тел. Это существенно искажает реальный процесс измельчения, когда достаточно мелкие частицы измельчаемого материала выводятся из рабочей зоны измельчителя, и такая корректи-

ровка необходима при дальнейшем развитии данной имитационной модели для более точного исследования процесса струйно-ударного измельчения растительных материалов. Также серьёзным упрощением в разработанной модели является отказ от учёта воздействия непосредственно струи газа, в которой разгоняются твёрдые тела, на измельчаемый материал. Этот недостаток имитационной модели также должен быть устранён при доработке имитационной модели.

Тем не менее, несмотря на сделанные допущения и очень высокий уровень идеализации, разработанная имитационная модель струйно-ударного измельчения растительных материалов позволяет в первом приближении установить путём проведения серии вычислительных экспериментов стохастическую взаимосвязь между параметрами процесса струйно-ударного измельчения растительного сырья и показателями его эффективности.

**Вычислительный эксперимент.** Показатели эффективности измельчения должны характеризовать его качество и производительность. Так как измельчение исходной пластины представляет собой случайный процесс, на выходе которого получаются частицы исходной пластины разных форм и размеров (рис. 1), то наряду с количеством частиц, на которые разделилась исходная пластина, для характеристики качества измельчения целесообразно использование средней площади получившихся частиц и её стандартное отклонение. Показателем производительности процесса измельчения являются характеристики частиц, образовавшихся в результате взаимодействия измельчаемой пластины с определённым количеством твёрдых тел.

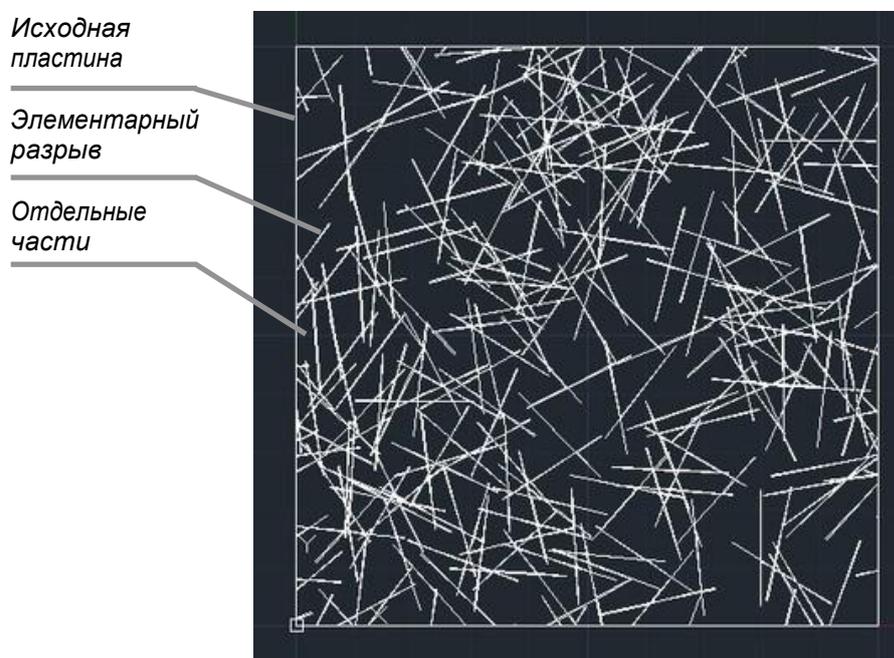
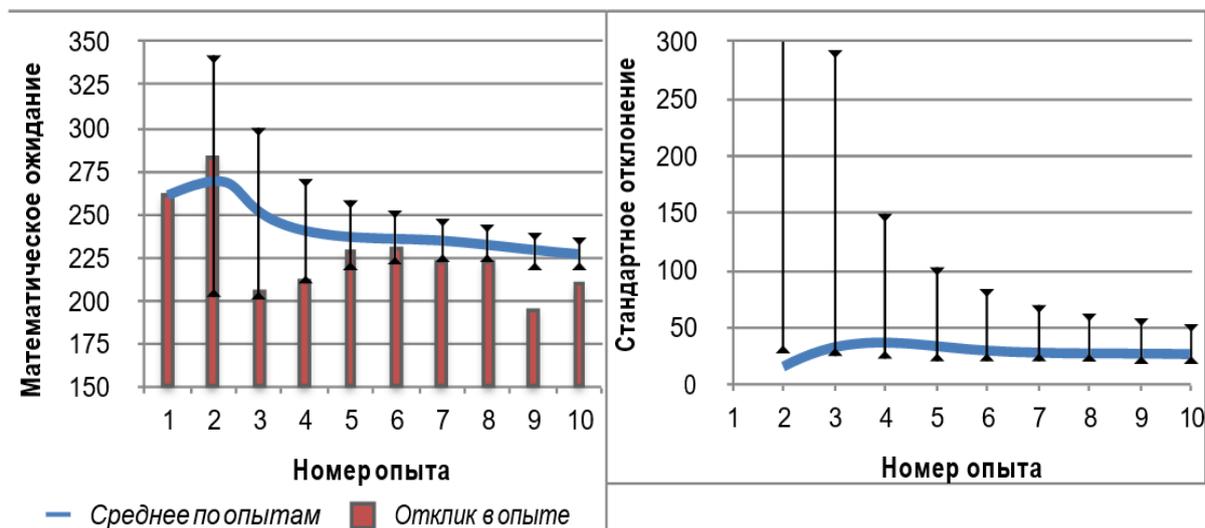


Рис. 1. Схема измельчаемой пластины с 300 элементарными разрывами

Установление стохастической взаимосвязи между параметрами процесса измельчения и принятыми показателями его эффективности предполагает на первом этапе выяв-

ление общих тенденций изменения рассматриваемых показателей, а также их статистическую устойчивость. Для решения данной задачи было поставлено два вычислительных эксперимента. В каждом из них исходная пластина характеризовалась масштабным параметром  $a = 5$  и параметром формы  $b/a = 1$ . В первом эксперименте определялась статистическая устойчивость отклика, которым являлось число частиц, на которые окажется разделена исходная пластина после нанесения 200 элементарных разрывов. Данный опыт повторялся 10 раз, что позволило определить зависимость надёжности получаемого результата от повторности опытов. Во втором эксперименте исходная пластина получала 300 элементарных разрывов, при этом после каждых 30 элементарных разрывов определялась средняя площадь образовавшихся отдельных частиц и её стандартное отклонение.

**Анализ результатов.** В ходе проведения двух вычислительных экспериментов на разработанной имитационной модели струйно-ударного измельчения растительного сырья были получены результаты, представленные на рисунках 2 и 3. При статистической обработке результатов первого вычислительного эксперимента определялись оценки и доверительные интервалы математического ожидания и стандартного отклонения количества частиц, на которое разделяется исходная пластина, с достоверностью 95 % [10]. Как видно из графиков (рис. 2), статистически устойчивым результат становится после 7...8 повторов, при этом относительная погрешность оценки математического ожидания не превышает 10 %. Относительная погрешность стандартного отклонения также стабилизируется после 7...8 повторов, однако остаётся очень большой.



**Рис. 2. Статистическая устойчивость количества частиц, на которые разделяется исходная пластина:** а) статистическая оценка математического ожидания; б) статистическая оценка стандартного отклонения

Результаты второго вычислительного эксперимента, представленные на рисунке 3 в полулогарифмических координатах (для среднего значения площади и её стандартного отклонения), характеризуют изменение статистических параметров площади частиц

исходной пластины, образующихся по мере увеличения количества элементарных разрывов. Характерной является величина коэффициента вариации, которая больше единицы, что свидетельствует о сложной структуре гистограммы площадей частиц, которая требует дальнейших исследований.

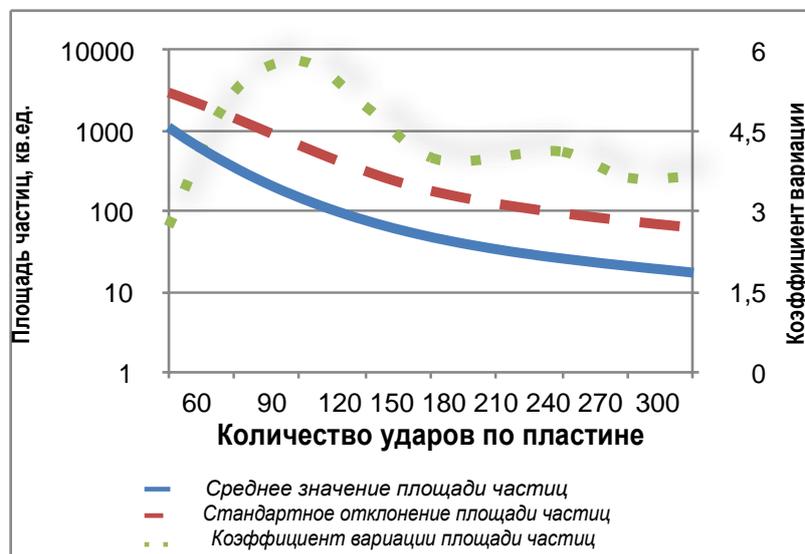


Рис. 3. Статистическая характеристика частиц исходной пластины в зависимости от количества ударных воздействий

**Выводы.** Разработанная имитационная модель струйно-ударного измельчения позволила в первом приближении установить статистическую устойчивость результатов моделирования и общий характер процесса измельчения.

#### Список литературы

1. Каменских А.Д., Медяков А. А., Онучин Е. М. Результаты вычислительного эксперимента на имитационной математической модели функционирования технико-технологических систем для теплоснабжения животноводческого комплекса // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 89. С. 568–580.
2. Романов Е. М., Онучин Е. М., Семенов К. Д. Подходы к моделированию территориальных агролесоводственных биоэнергетических комплексов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 82. С. 209–218.
3. Онучин Е. М., Анисимов П. Н. Математическая модель функционирования измельчающе-транспортной машины для производства топливной щепы на лесосеке с энергообеспечением от газогенераторного двигателя Стирлинга // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. № 221. С. 258–270.
4. Бурлуцкий Е. М., Павлидис В. Д., Чкалова М. В. Типовые математические модели процесса измельчения кормового сырья и их формально-логический анализ // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 2(26). С. 57–59.
5. Ахмадиев Ф. Г., Назипов И. Т. Стохастическое моделирование кинетики процессов обработки гетерогенных систем // Теоретические основы химической технологии. 2013. Т. 47, № 2. С. 182.

6. Изучение измельчения неоднородных материалов в ударных мельницах / А. Е. Лебедев, С. Т. Суид, В. А. Бадоев и др. // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11. С. 283–286.
7. Имитационная математическая модель функционирования каталитических систем для производства и преобразования энергии при анаэробной переработке органических отходов животноводства / Ю. Н. Сидыганов, А. А. Медяков, Е. М. Онучин и др. // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2013. № 91. С. 589–600.
8. Липанов А. М., Жиров Д. К. Математическое моделирование динамики движения частиц в установках по измельчению центробежно-ударного типа. Часть 1: Математическая модель // *Химическая физика и мезоскопия*. 2014. Т. 16, № 1. С. 82-87.
9. Результаты математического моделирования процессов теплового перемешивания при анаэробном сбраживании органических отходов / Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д. В. Костромин и др. // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2011. № 24. С. 332–338.
10. Ящерицын П. И., Махаринский Е. И. Планирование эксперимента в машиностроении. Минск: Вышэйш. шк., 1985. 286 с.

### SIMULATION OF JET-IMPACT DISINTEGRATION

*Sidyganov Yuri Nikolaevich, Onuchin Evgeny Mikhailovich, Rybakov Pavel Andreevich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola  
onuchinem@volgatech.net

*A mathematical model of jet-impact disintegration is described, which characterizes in a first approximation the relationship between the parameters of the disintegration process and its efficiency indicators and is implemented in the AutoLISP environment. The results of computational experiments are presented.*

**Keywords:** *simulation, AutoLISP, computational experiment, jet-impact disintegration, disintegration efficiency.*

УДК 519.876.5

### СТРУЙНО-УДАРНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Сидыганов Юрий Николаевич, Онучин Евгений Михайлович,  
Рыбаков Павел Андреевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
onuchinem@volgatech.net

*В статье представлен апробированный способ струйно-ударного измельчения растительного сырья струями сжатого воздуха с абразивом. Важнейшим параметром струйно-абразивного измельчения является кинетическая энергия абразивных частиц и, в частности, их скорость и скорость сжатого под давлением воздуха.*

**Ключевые слова:** *струйно-ударный способ, измельчение, растительное сырьё, сжатый воздух, абразив.*

**Введение.** Измельчение – это энергоёмкий процесс, направленный на получение определённого гранулометрического состава измельчаемого растительного сырья. Многообразие машин и оборудования в агропромышленном комплексе, использующиеся для измельчения исходного растительного сырья, свидетельствует о том, что в настоящее время продолжается поиск наиболее эффективной и рациональной технологии измельчения растительного сырья. Сегодня основным устройством в агропромышленном комплексе является молотковая дробилка. Она проста по конструктивному исполнению и обслуживанию, но не в полной мере отвечает требованиям энергоресурсосбережения, при этом готовый продукт имеет недоизмельченные частицы и значительное содержание пылевидной фракции [1].

В течение последних лет наиболее перспективным устройством в области измельчения растительного сырья становится разработка струйно-ударного способа измельчения. Данное устройство обеспечивает однородный состав растительного сырья, снижение энергоёмкости процесса в 1,2–2,0 раза, металлоемкости в 2–3 раза, что свидетельствует о целесообразности его применения [2].

**Цель исследования** – разработка экспериментальной модели струйно-ударного способа измельчения растительного сырья, заключающегося в ударном воздействии на измельчаемый материал твёрдых тел, разогнанных до определённой скорости в потоке воздуха.

**Решаемые задачи:**

- исследование процесса струйно-ударного измельчения растительного сырья твёрдыми телами, разогнанными в потоке воздуха;
- разработка имитационной модели скорости сжатого потока воздуха и определение вычислительных характеристик скорости частиц абразива струйно-ударного способа измельчения растительного сырья;
- разработка экспериментальной модели струйно-ударного способа измельчения растительного сырья по полученным результатам;
- анализ результатов экспериментальной модели струйно-ударного способа измельчения растительного сырья.

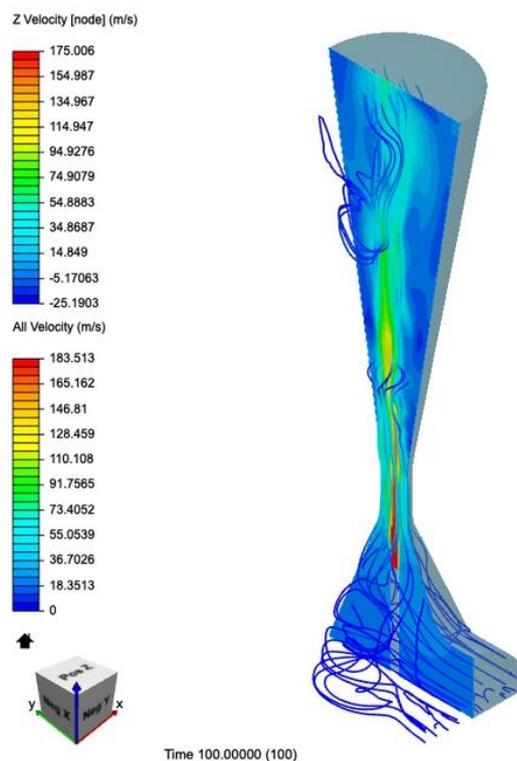
**Имитационная модель.** Способ измельчения растительного сырья с помощью струи сжатого воздуха с абразивом отличается от аналогичных способов тем, что для регулирования выходящей струи сжатого воздуха используются наконечник и диффузор, а абразивный материал за счёт отрицательного давления воздуха поступает в диффузор перед наконечником, а не прокачивается через него, тем самым исключая быстрый износ деталей.

Технологические характеристики струи определяются ее измельчающей способностью, зависящей от кинетической энергии удара абразивных частиц, концентрации, а также их режущей способностью [3].

Так как в процессе измельчения растительного сырья масса зёрен абразива неизменна, то целесообразным является максимальное достижение скорости частиц, от которых зависит режущая способность. Определив твёрдость растительного сырья, фракционный состав абразива, глубину резания и давление сжатого воздуха, можно найти

скорость воздуха из наконечника, которая необходима для осуществления процесса измельчения.

По заданным параметрам в программе SimScale создана имитационная модель, определяющая скорость потока сжатого воздуха струйно-ударного способа измельчения растительного сырья, представленная на рисунке 1.



**Рис. 1.** Имитационная модель скорости потока сжатого воздуха по оси Z

По полученным данным для осуществления процесса измельчения растительного сырья с помощью струйно-ударного способа скорость потока сжатого воздуха под давлением в 7,5 бар из наконечника по оси Z должна составлять 175 м/с.

Для работоспособности струйно-ударного способа измельчения растительного сырья одним из основных технологических критериев будет являться скорость абразивных частиц, необходимых для осуществления процесса резания, так как известно, что чем меньше диаметр частиц, тем более интенсивно падение их скорости.

Для приближенного расчета движения твердых частиц в потоке воздуха [4] вводятся следующие допущения:

- частицы имеют сферическую форму и одинаковый диаметр;
- частицы не взаимодействуют между собой;
- вязкость воздуха не учитывается.

Известно, что из-за неправильной формы частиц абразива возможно их вращение в разных направлениях, тем самым занижая скорость в 2,5 раза. В связи с этим целесообразно введение в формулу коэффициента, позволяющего повысить точность расчёта скорости частиц абразива.

С учетом принятых допущений [4], получена формула (1) для расчета скорости частиц абразива:

$$V_{\text{абраз}} = kV_{\text{возд}} \sqrt{\frac{3}{2} C_x \frac{\rho_{\text{возд}} l}{\rho_{\text{абраз}} D}}, \quad (1)$$

где  $k = 2,5$  – коэффициент для частиц абразива  $D = 400...630$  мкм;  $V_{\text{абраз}}$  – скорость частицы абразива, м/с;  $V_{\text{возд}}$  – скорость сжатого воздуха, м/с;  $C_x$  – коэффициент сопротивления;  $\rho_{\text{возд}}$  – плотность воздушной фазы, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{абраз}}$  – плотность абразивного материала, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – длина технологического диффузора, (м);  $D$  – размер абразивного зерна (м).

Формула (1) дает значение скорости частиц абразива на выходе из диффузора, так как процесс измельчения растительного сырья ведется на расстоянии 50-70 мм от среза диффузора, в пределах начального участка струи.

Полученные по формуле (1) результаты показывают, что скорость частиц абразива диаметром 0,05 мм на рабочем участке 50-70 мм должна составлять 13 м/с.

**Экспериментальная модель.** По полученным результатам разработана и апробирована экспериментальная модель струйно-ударного способа измельчения растительного сырья, представленная на рисунке 2.

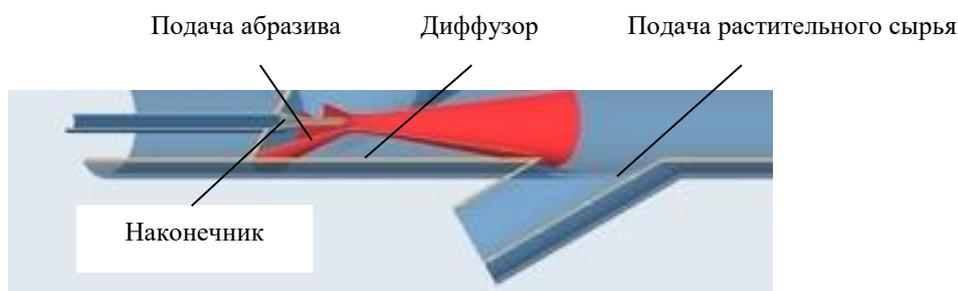


Рис. 2. Экспериментальная модель струйно-ударного способа измельчения растительного сырья

**Анализ результатов.** По результатам имитационной модели определяющая скорость потока сжатого воздуха и проведения вычислений скорости частиц абразива установлено, что для обеспечения работоспособности данного способа измельчения при скорости сжатого воздуха 175 м/с, давлении 7,5 бар и скорости частиц абразива 13 м/с используются выходной диаметр наконечника 2 мм, диффузор 10 мм, диаметр частицы абразива 0,05 мм, а оптимальная рабочая зона от среза диффузора до обрабатываемого растительного сырья должна находиться в пределах 50-70 мм.

**Выводы.** Разработано и апробировано перспективное устройство струйно-ударного способа измельчения растительного сырья путём использования струи сжатого воздуха с абразивом. Отличительной характеристикой данного способа от аналогов является то, что абразивный материал за счёт отрицательного давления воздуха поступает в диффузор перед наконечником, а не прокачивается через него, тем самым максимально минимизирован его износ.

Список литературы

1. Перминов В.Н., Лопатин Л.А., Баранов Н.Ф. Обзор конструкций дробилок фуражного зерна // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: материалы X Международ. науч.-практ. конф. «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: сб. науч. тр. Киров: Вятская ГСХА, 2017. Вып. 18. С. 208-213.
2. Технологическое оборудование предприятий отрасли (зерноперерабатывающие предприятия) / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев, М.М. Темиров, Ю.М. Огурцов. Москва: ДеЛи принт, 2006. 816 с.
3. Исупов М. Г. Разработка и исследование технологии струйно-абразивной финишной обработки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения». Ижевск, 2006. 32 с.
4. Кудинов В. В., В. Н. Иванов Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. Москва: Машиностроение, 1981. 190 с.

**JET-IMPACT METHOD FOR GRINDING VEGETABLE RAW MATERIALS**

*Yuri Nikolaevich Sidyganov, Evgeny Mikhailovich Onuchin, Pavel Andreevich Rybakov*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola  
onuchinem@volgatech.net

*The article presents an approved method of jet-impact grinding of plant material by jets of compressed air with an abrasive. The most important parameter of jet-abrasive grinding is the kinetic energy of abrasive particles, and, in particular, their speed and the speed of compressed air.*

**Keywords:** *jet-shock method, grinding, vegetable raw materials, compressed air, abrasive.*

# РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.371:551.510.535

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИОНОСФЕРНЫХ РАДИОКАНАЛОВ

*Рябова Наталья Владимировна, Бастракова Марина Ивановна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
m.i.bast@mail.ru

*Проведен сравнительный анализ современных методов повышения помехоустойчивости и пропускной способности ионосферных высокочастотных радиоканалов. Рассмотрены организационно-технические, аппаратно-технические методы, а также предсеансовое зондирование ионосферы с помощью сложного линейно-частотно модулированного сигнала.*

**Ключевые слова:** ионосферный радиоканал, пропускная способность, помехоустойчивость, радиозондирование ионосферы, ЛЧМ ионозонд, высокочастотная радиосвязь

**Введение.** На ионосферных линиях радиосвязи помехоустойчивость определяется в основном отношением сигнал/шум на входе приемника, которое подвержено регулярным изменениям за счет случайных изменений уровней сигнала и помех в условиях быстрых и медленных замираний и оценивается как случайная величина. Определение помехоустойчивости и пропускной способности ионосферного канала позволяет наиболее эффективно его использовать.

В настоящее время существует два способа решения этой проблемы. Первый состоит в разработке систем связи и передачи информации с учетом физических особенностей радиоканала. Второй – в создании адаптивных систем со средствами диагностики среды распространения радиоволн на основе радиозондирования ионосферы линейно-частотно модулированным сигналом [1].

**Цель работы** – провести сравнительный анализ современных подходов и методов повышения помехоустойчивости и пропускной способности ионосферных радиоканалов.

Для удобства анализа совокупность разработанных и уже реализованных мер по повышению помехоустойчивости и пропускной способности радиоканалов ионосферной

связи условно разделена на организационно-технические и аппаратурно-технические, а также с применением сложного линейно частотно модулированного сигнала.

### **Организационно-технические меры повышения эффективности ионосферной высокочастотной радиосвязи**

К организационно-техническим мерам повышения эффективности ионосферной ВЧ радиосвязи относятся: организация ретрансляции на трассах большой протяженности; организация ВЧ радиосвязи с ретранслятором, вынесенным из зоны; организация лавинной ВЧ радиосвязи; организация разнесенного приема.

Достаточно эффективной мерой повышения качества радиоканала и устойчивости связи является организация не просто ретрансляционных пунктов непосредственно на этих трассах, а создание сети ретрансляционных пунктов определенной структуры. Это позволяет успешно бороться с явлениями, вызванными не только естественными процессами в ионосфере, но и преднамеренными нарушениями состояния слоев ионосферы (например, в результате высотных ядерных взрывов). Положительный эффект в этом случае достигается организацией радиосвязи с необходимым корреспондентом по направлениям, обходящим зоны нарушения естественного состояния ионосферы. Целесообразно применять остронаправленные антенны. В целом это позволит дополнительно увеличить отношение сигнал/шум в точке приема и сделать радиосвязь в зоне более свободной от недостатков, характерных для ВЧ радиосвязи на коротких трассах, обеспечив тем самым повышение ее устойчивости [1].

### **Аппаратурно-технические меры повышения эффективности ионосферной радиосвязи**

Одним из методов повышения эффективности является переход к цифровой связи в ВЧ диапазоне. Цифровые сигналы позволяют значительно увеличить среднюю мощность передатчика и, следовательно, повысить отношение сигнал/шум в точке приема, т.е. улучшить помехоустойчивость систем радиосвязи. Преимуществом цифровой радиосвязи является также отсутствие накоплений помех при ретрансляции в результате регенерации сигналов на линии связи, повышение надежности аппаратуры и возможность использования для обработки сигналов микропроцессорных устройств. В то же время специалистами отмечаются ограниченные возможности применения цифровых методов передачи в КВ диапазоне из-за специфических условий распространения радиоволн в этом диапазоне. Эта ограниченность проявляется прежде всего в предельно достижимых скоростях передачи дискретных сигналов, обусловленных многолучевостью и большим ослаблением энергии радиоволны на трассах радиосвязи. Так, прием телеграфных сигналов сопровождается краевыми искажениями единичного сигнала, что ограничивает максимально допустимую скорость телеграфирования, поскольку приводит к росту частоты ошибок. При использовании одноканальной телеграфии с частотной или разностнофазовой манипуляцией скорость передачи обычно не превышает 150...200 Бод. Дальнейшее повышение скорости передачи может быть достигнуто либо соответствующим выбором частот, на которых исключено многолучевое распространение радиоволн, либо подавлением дополнительных лучей, либо использование многочастотных модемов. В таких модемах информация передается в полосе стандарт-

ного телефонного канала на нескольких частотах с применением частотной или многократной фазовой или разностно-фазовой модуляции.

Известно, что в обычных каналах тональной частоты для увеличения помехоустойчивости применяются устройства, использующие специальные коды, позволяющие не только обнаружить ошибки в принятых комбинациях, но исправлять их. Применение специальных кодов в каналах с селективными замираниями приводит к достаточно хорошим результатам. В применяемых в США КВ модемах таких кодов обеспечивается скорость передачи данных 3600 бит/с в каналах с полосой 3 кГц с помощью 18 тонов. Причем 2400 бит/с используются для передачи оперативной информации, а 1200 бит/с – для обнаружения и коррекции ошибок.

Другим методом повышения эффективности ВЧ связи является применение мониторинга ионосферы. В последние годы появились специализированные ВЧ модемы, способные передавать двоичные файлы и данные в радиоканале со скоростью 9,6 кбит/с малой ( $10^{-9}$ ) вероятностью ошибки на бит информации. Такие крупнейшие производители, как Harris, Codan, Motorola и другие, а также некоторые российские предприятия приступили к серийному выпуску радиостанций, реализующих алгоритмы автоматического вхождения в связь ALE (automatic link establishment), перезапросов фрагментов сообщений и исправления ошибок в реальном масштабе времени, минимизации участия человека в процессе радиообмена [1, 2].

#### **Предсеансовое зондирование ионосферы сложными линейно-частотно модулированными радиосигналами**

Для получения информации о структуре ионосферных слоев и динамике ионосферной плазмы Земли используются различные варианты радиозондирования (вертикальное (ВЗ), наклонное (НЗ), возвратно-наклонное (ВНЗ), трансionoсферное и различные виды сигналов (узкополосные (УПС), широкополосные (ШПС), сигналы с различными видами модуляции). Различные методы исследования существуют совместно и дополняют друг друга.

Наибольшую точность в определении МПЧ имеет метод трассового (наклонного) зондирования. Передатчик и приемник импульсов разнесены на расстояние одного или нескольких скачков. В заранее установленное время или с каким-то периодом передатчик посылает в эфир сигнал последовательно на нескольких частотах. На приемном конце оцениваются слышимость и качество сигналов и делается вывод о подходящих частотах для данного времени суток и года. Накопленная статистика затем используется в процессе организации связи. В данном случае точность определения МПЧ будет определяться шагом перестройки частоты передатчика.

Еще одним способом практического определения МПЧ являются методы вертикального и возвратно-наклонного зондирования. В обоих случаях прием осуществляется в точке передачи. Вертикальные ионозонды определяют состояние ионосферы непосредственно над пунктом расположения, позволяя получать зависимость распределения электронной концентрации от высоты, они не очень подходят для исследований динамических процессов в ионосфере, а их применение является достаточно затратным из-за необходимости обеспечения работы радиопередающих систем. В случае возвратно-

наклонного зондирования (ВНЗ) ионосфера выполняет функции огромного пассивного ретранслятора. Для проведения вертикального и возвратно-наклонного зондирования кроме передатчика и приемной антенны с заданной диаграммой направленности требуется высокая точность определения времени между моментами передачи и приема радиоимпульсов, а также синхронизация работы передающих и приемных комплексов. Качество информации, получаемой при зондировании ионосферы определяется отношением сигнал/шум, которое на выходе оптимального приемника достигает максимума и может быть выражено через базу сигнала [60]. Отношение сигнал/шум может быть увеличено за счет увеличения его базы. Физической причиной этого является сжатие принимаемого импульса в оптимальном приемнике, когда его корреляционная функция принимает вид короткого импульса. При этом длительность сжатого импульса тем меньше, а амплитуда тем больше, чем больше база сигнала. По причинам технического характера в настоящее время самыми длинными сложными сигналами являются сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Поэтому им было отдано предпочтение при создании новых систем зондирования ионосферы и систем частотного обеспечения высокочастотной радиосвязи. Современный ЛЧМ ионозонд излучает непрерывный сигнал, который при приеме нарезается на элементы, и они сжимаются в частотной области. В основу функционирования ЛЧМ ионозонда положен принцип сжатия спектра полезного сигнала по частоте или так называемый корреляционно-фильтровой (гетеродинный) способ обработки.

Для обеспечения устойчивой ионосферной связи в высокочастотном диапазоне из-за сложности механизма распространения радиоволн и связанной с этим нестационарностью помеховой обстановки необходимо использовать в системах ВЧ радиосвязи адаптивное управление, которое предусматривает возможность оценки рабочих параметров системы связи и прогноза их состояния на будущее в условиях меняющейся среды распространения. Адаптация каналов связи к изменяющимся условиям распространения радиоволн включает:

- автоматическую смену рабочей частоты, скорость передачи информации, вид модуляции;
- переход на участки диапазона частот, где помехи минимальны;
- регулирование мощности передатчиков при сохранении неизменными защитных отношений частот с целью улучшения условий электромагнитной совместимости;
- автоматическую регулировку наклона и ориентации диаграмм направленности антенн и т.д.

Для повышения помехоустойчивости и пропускной способности радиоканалов ионосферной связи необходимо осуществлять предсеансовую диагностику радиоканалов с использованием наклонных ионозондов, определять текущие радиотехнические параметры и адаптировать информационно-технические характеристики системы к этим параметрам [2].

**Выводы.** В последнее время в теории и технике зондирования ионосферы и ионосферных ВЧ радиоканалов произошли существенные перемены, связанные с применением для зондирования сложных ЛЧМ сигналов, оптимальных методов обработки, поз-

воляющих существенно повысить помехоустойчивость измерений при существенном снижении излучаемых мощностей зондов. Поэтому сейчас основная проблема диагностики каналов связи связана с необходимостью развития методик и алгоритмов, позволяющих обрабатывать сложные ЛЧМ сигналы, используемые для наклонного зондирования ионосферы с целью оценок информационно-технических характеристик (ИТХ) систем связи и повышения помехоустойчивости и пропускной способности радиоканалов ионосферной связи.

*Список литературы*

1. Бастракова М.И., Иванов В.А., Рябова Н.В. Помехоустойчивость и пропускная способность радиоканалов ионосферной связи: научное издание. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2013. 172 с.
2. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / под ред. О.В. Головина. Москва: Горячая линия - Телеком, 2006. 354 с.

**MODERN APPROACHES TO IMPROVING THE NOISE IMMUNITY AND BANDWIDTH OF IONOSPHERIC RADIO CHANNELS**

*Ryabova Natalia Vladimirovna, Bastrakova Marina Ivanovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola  
m.i.bast@mail.ru

*A comparative analysis of modern methods for improving the noise immunity and bandwidth of ionospheric high-frequency radio channels is carried out. Organizational-technical, hardware-technical methods as well as pre-session sensing of the ionosphere using a complex linear-frequency modulated signal are considered.*

**Keywords:** *ionospheric radio channel, bandwidth, noise immunity, ionospheric radiosonde, LFM ionosonde, high-frequency radio communication*

УДК 791

**АКВАРИУМЫ С РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ОБИТАТЕЛЯМИ И ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ ВНЕШНЕГО ОСВЕЩЕНИЯ**

*Лаврентьев Борис Федорович<sup>1</sup>, Сафиуллина Яна Михайловна<sup>1</sup>,  
Андреанов Денис Юрьевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
Lavreytevbf@volgatech..net

<sup>2</sup>Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

*В последнее время все более привлекательными и популярными становятся аквариумы с искусственными обитателями водной среды, выполненными в виде роботизированных объектов с внутренним и внешним управлением, которые имитируют поведение живых рыб. Такие аквариумы не нуждаются в периодической смене воды, её очистке, не требуют кормления, лечения их обитателей. Недостатком таких аквариумов является то, что каждые 2-3 часа рыбок необходимо вынимать из воды и заменять источники питания.*

*Сотрудниками Поволжского государственного технологического университета выполнен эскизный проект создания аквариума с робототехническими обитателями с источниками энергии за счет внешнего освещения, который представлен в данной работе.*

**Ключевые слова:** аквариумы, роботизированные обитатели, рыбы-роботы, источники питания, фотоэлементы, преобразователи, освещение, культурные объекты современного города.

Аквариум является ярким украшением жилья, офисных помещений, развлекательных центров, торговых галерей, ресторанов и магазинов. Подобная популярность связана с огромным разнообразием их оформления и внутреннего содержания. Они привлекают взгляд своей красотой, яркими цветами, экзотичностью и способствуют популярности заведений. Сегодня входит в моду установка больших стеклянных аквариумов, созданных по индивидуальным замерам, встроенных в мебель и имеющих необычную форму и дизайн. В России покупатели также мечтают об аквариумах необычного дизайна и оригинальной формы. Они хотят видеть в своем доме уникальный подводный мир с богатой флорой и фауной, необычными водоплавающими и экзотическими растениями. Модными сегодня являются аквариумы из гнутого, а также цветного и зеркального стеклянного полотна. Большая часть аквариумов производится из силикатного материала или из оргстекла. В первом случае получаются красивые, однако достаточно хрупкие изделия. Силикатный материал способен прекрасно сопротивляться нанесению царапин и долгое время оставаться гладким. Оргстекло является сравнительно легким и прочным, в то же время эстетические качества гораздо ниже, а кроме того его достаточно легко поцарапать.

Существующие в настоящее время аквариумы предназначены в основном для содержания представителей животного и растительного мира водных объектов, а именно разнообразных рыб, земноводных, водорослей, кораллов, ракушек и других обитателей водной среды. Посетители заведений с большим интересом наблюдают за поведением обитателей аквариумов через их прозрачные стенки. Наличие в культурных, развлекательных, образовательных и торговых центрах аквариумов способствует значительному увеличению количества их посетителей, а следовательно, и их дохода и процветания [1-6].

Недостатком существующих аквариумов является необходимость периодически чистить стенки аквариумов, менять воду, кормить обитателей водной среды, поддерживать необходимый температурный режим и освещенность, ухаживать за растительностью, чистить грунт и проводить аэрацию воды, что делает использование таких аквариумов достаточно хлопотным и дорогим удовольствием, требующим постоянного контроля за состоянием водной среды. Кроме того, необходимо ежедневно контролировать состояние обитателей аквариума, проводить профилактические мероприятия и их лечение.

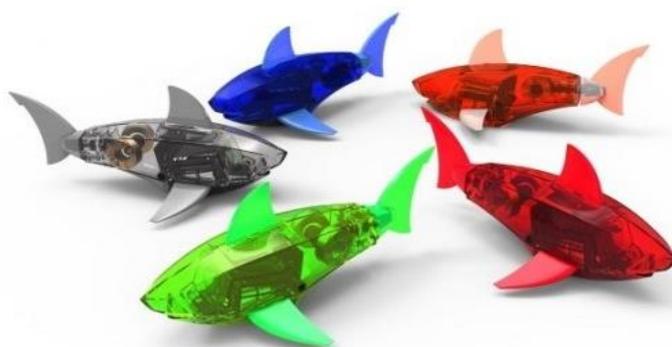
Поэтому в последнее время все более и более привлекательными становятся аквариумы с искусственными обитателями водной среды, выполненными в виде рыбок-роботов с внутренним и внешним управлением, которые имитируют поведение живых рыб. Такие аквариумы не нуждаются в периодической смене воды, её очистке, не требуют кормления, лечения, соблюдения температурного режима и ежедневного контроля за состоянием их обитателей.

Обитателей аквариума без особого труда можно приобрести у многочисленных производителей в Китае, Японии, США, Италии и России. Цена рыбок в зависимости

от размеров колеблется от 200 до 2000 рублей. Художественное оформления рыб-роботов вызывает восхищение и не оставит равнодушными посетителей культурных и развлекательных учреждений. Срок службы таких рыб более 3-5 лет. Недостатком аквариумов с роботизированными обитателями является то, что время непрерывной работы таких рыбок не превышает 2-3 часов, после чего их необходимо вынимать из воды и заменять источники питания. Это дополнительные трудности в эксплуатации и значительные финансовые расходы за счет смены источников питания.



**Рис. 1. Общий вид аквариума**



**Рис. 2. Рыбки-роботы**

Для исключения указанного выше недостатка сотрудниками Поволжского государственного технологического университета выполнен эскизный проект создания аквариума с робототехническими обитателями, в котором обеспечивается их продолжительная работа за счет подзарядки аккумулятора от источника внешнего освещения. Для

этого на каждом подводном объекте устанавливается фотоэлемент, преобразователь LTC-3105, аккумулятор и ключи. Подсветка осуществляется источниками света, установленными на внутренней поверхности крышки аквариума, который одновременно является источником энергии для подзарядки аккумуляторов роботизированных объектов [7-8].

На рисунке 3 изображен общий вид такого аквариума, а на рисунке 4 представлена блок-схема устройства управления роботизированным объектом с подзарядкой аккумулятора источником электрической энергии за счет светового потока.

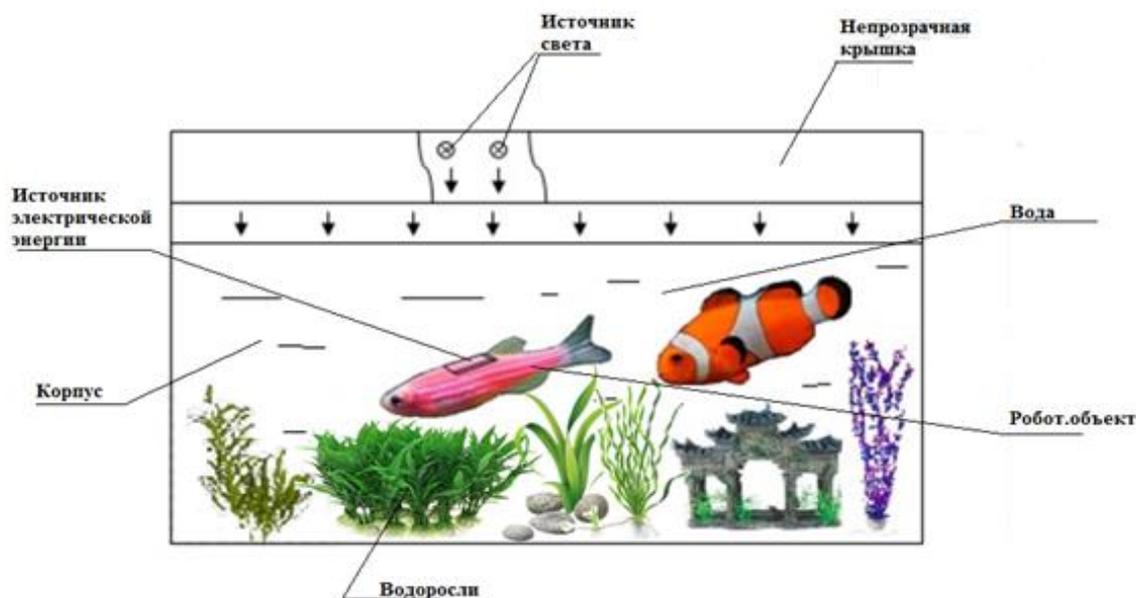


Рис. 3. Общий вид аквариума

Аквариум содержит прозрачный корпус с водой, внутри которого размещаются водоросли и роботизированные объекты с аккумулятором, блоком управления роботом и механизмами робота. Сверху на корпусе устанавливается непрозрачная крышка с источниками света. На верхней поверхности роботизированных объектов размещается источник электрической энергии, состоящий из фотоэлемента, преобразователя напряжения LTC3105 и ключей, при этом фотоэлемент подключается на вход преобразователя напряжения LTC 3105, выход преобразователя напряжения LTC 3105 через ключи подключается к аккумулятору роботизированного объекта.

Световой поток от источника света освещает пространство внутри аквариума и одновременно освещает фотоэлемент, на выходе которого формируется напряжение, поступающее на вход преобразователя напряжения LTC 3105. При включении источника света происходит подсветка корпуса аквариума и одновременно фотоэлемента роботизированного объекта. На выходе фотоэлемента формируется напряжение, которое поступает на вход преобразователя напряжения LTC 3105, где повышается до величины 4-5 В и через ключи поступает на подзарядку аккумуляторов. Аккумулятор подключен к блоку управления роботом, который управляет его механизмами. При отключении освещения или при значительном снижении освещенности напряжения на выходе фо-

тоэлемента, а следовательно, и на выходе преобразователя напряжение LTC 3105 снижается и ключи отключают аккумулятор от подзарядки, исключая его разряд через преобразователь напряжения LTC 3105. Для увеличения КПД желательно внутреннюю поверхность крышки аквариума покрыть светоотражающей краской.

В проектируемом аквариуме используются рыбы-роботы размером  $5 \times 20$  см с питанием от аккумулятора 4 В. При работе рыба-робот потребляет в среднем ток  $I_{\text{ср}} = 40$  мА, т.е. мощность потребления составляет 150 мВт. Учитывая, что за счет преломления света в воде и возможности уменьшения освещенности фотоэлемента мощность источника энергии должна быть выбрана раза в два больше, т.е.  $P_{\text{вых}} = 250\text{-}3000$  мВт. Такую мощность могут обеспечить два фотоэлемента с типовыми размерами  $52 \times 26$  мм, которые могут обеспечить выходную мощность  $P_{\text{вых}} = 230 \times 2 = 460$  мВт.

Конструктивно фотоэлементы совместно с преобразователем LTC3105 и ключами (контроллером) размещаются в прозрачном герметизированном корпусе и соединяются через герметический разъем с аккумуляторами роботизированного объекта. Использование преобразователя LTC3105, контроллера и фотоэлемента с двукратным запасом по мощности и наличие аккумулятора обеспечит длительную надежную работу аквариума с роботизированными обитателями в течение длительного времени.



Рис. 4. Блок-схема устройства управления роботизированным объектом

Созданный аквариум с робототехническими обитателями по сравнению с существующими несколько дороже, однако его эксплуатация значительно проще и дешевле. Поэтому предлагаемые аквариумы с робототехническими обитателями, несомненно, получат широкое распространение в офисных помещениях, развлекательных и культурных центрах, торговых галереях, ресторанах и магазинах.

*Работа выполняется при финансовой поддержке по программе «УМНИК» 2020 года, заявка № У-082354 «Разработка информационных робототехнических конструкций для культурных объектов современного города»*

*Список литературы*

1. Деген Бернд. Дискусы. Полный атлас. Москва: Аквариум-Принт, 2014. 320 с.

2. Домашний аквариум. Москва: Феникс, Фолио, 2010. 368 с.
3. Кассельман Кристель. Дизайн аквариума. Москва: Аквариум, 2009. 160 с.
4. Плонский В.Д. Краткий справочник аквариумиста. Москва: Аквариум-принт, 2015. 688 с.
5. Полная энциклопедия аквариумиста. Москва: Современный литератор, 2007. 640 с.
6. Цирлинг М.Б. Аквариум в каждом доме. Уход и содержание. Москва: Аквариум-Принт, 2009. 112 с.
7. <https://akvarium-moskva.ru/stati-po-kvariumistike/rybki-roboty.html>
8. <https://aquariumguide.ru/news/rybka-robot-sovety-po-ekspluatacii.html>

#### AQUARIUMS WITH ROBOTIZED RESIDENTS AND SOURCE OF ENERGY AT THE ACCOUNT OF EXTERNAL LIGHTING

*Lavrentiev Boris Fedorovich*<sup>1</sup>, *Safiullina Yana Mikhailovna*<sup>1</sup>, *Andrianov Denis Iurevich*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

<sup>2</sup>Military innovative technopolis «ERA», Anapa

*Recently, aquariums with artificial inhabitants of the aquatic environment, made in the form of robotic objects with internal and external control, which imitate the behavior of living fish, are becoming more and more attractive. Such aquariums do not need a periodic change of water, its purification, do not require feeding, treatment of the inhabitants of the aquarium. The disadvantage of such aquariums is that every 2-3 hours the fish must be removed from the water and replaced with power sources. Employees of the Volga State Technological University completed a preliminary design for creating an Aquarium with robotic inhabitants from an energy source due to external lighting. The article describes an aquarium with robotic inhabitants and an energy source due to external lighting.*

**Keywords:** *aquariums, robotic inhabitants, fish-robots, power sources, photocells, converters, lighting, entertainment shopping centers, office.*

УДК 621.865

#### ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Лаврентьев Борис Федорович*<sup>1</sup>, *Веденькина Любовь Александровна*<sup>1</sup>,  
*Андрянов Денис Юрьевич*<sup>2</sup>, *Сафиуллина Яна Михайловна*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
shabdarov2010@yandex.ru

<sup>2</sup>Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

*При проектировании информационных робототехнических конструкций особое внимание следует обращать на источники питания, так как от них в значительной степени зависят надежность, безопасность, стоимость и особенно эксплуатационные характеристики робототехнических конструкций в целом. Для стационарных информационных робототехнических конструкций в качестве источников питания, как правило, используются аккумуляторные батареи с блоками стабилизаторов напряжения. Значительно сложнее создать надежные, недорогие и, главное, безопасные источники питания для передвижных робототехнических конструкций в местах, где отсутствуют электрические сети. Хорошей альтернативой при создании источника питания для переносных робототехнических конструкций являются системы сбора электрической энергии из окружающей среды, которые не требуют подключения к сети и не нуждаются в обслуживании. Наиболее распространенным источником электриче-*

ской энергии из окружающей среды являются фотоэлектрические системы, благодаря повсеместному распространению света, низкой стоимости и высокой надежности систем и значительным количествам энергии. В статье описывается схема источника питания для передвижных робототехнических конструкций с использованием фотоэлементов.

**Ключевые слова:** информационные робототехнические конструкции; источники питания; аккумуляторы; источники энергии; фотоэлементы; преобразователи.

Использование созданных в Поволжском государственном технологическом университете информационных робототехнических конструкций, выполненных в виде сказочных, былинных и национальных героев, в сочетании с архитектурными и природными ландшафтами при использовании их в детских дошкольных, оздоровительных, культурных и лечебных учреждениях позволяет повысить эффективность лечения, снять психологическое напряжение и способствует разностороннему воспитанию детей. С другой стороны, подобные конструкции, несомненно, найдут применение в учебных, развлекательных, торговых и рекламных мероприятиях.

**Предлагаемые информационные робототехнические конструкции имеют явные преимущества перед существующими робототехническими конструкциями с элементами искусственного интеллекта, а именно:**

- их стоимость значительно меньше;
- их можно изготовить из существующих комплектующих: радиотелефонов, стеклоподъемников, контроллеров;
- они имеют хорошие эксплуатационные характеристики, просты в эксплуатации и безопасны для детей;
- можно легко наладить их серийное производство и реализацию с большим экономическим эффектом.

Сказочных героев можно установить в яслях, садиках, детских больницах, в культурных и оздоровительных центрах, где они будут рассказывать сказки, учить детей правилам хорошего тона, способствуя их всестороннему развитию. В яслях и детских садах это могут быть «Сказочники», «Смехошарики», в детских больницах – «Айболиты», «Медицинские сестры», в учебных центрах – педагоги, работники патрульно-дорожного движения. Информационные робототехнические конструкции могут быть экскурсоводами и гидами на различных выставках и презентациях.

Сказочные герои большого размера в праздничные дни могут устанавливаться на городских площадях, в парках, на выставках и концертных площадках и участвовать в праздничных мероприятиях в качестве ведущих – это значительно снизит расходы на проведение таких мероприятий и повысит эмоциональное воздействие на зрителей.

**Функционирование роботов возможно в трех режимах:**

- внутреннее программное управление;
- внешнее управление по радиоканалу;
- комбинированное управление.

Конструктивно робототехническая конструкция представляет собой постамент, на котором крепится фигура робота. Внутри постамента устанавливаются блок управле-

ния и аккумулятор с блоком питания. Типовая видеосистема позволяет оператору, который находится в соседнем кабинете на расстоянии до 20 м, следить за обстановкой вблизи робота и активно участвовать в «спектакле». Для того чтобы «руководить» движениями робота при внешнем управлении, спроектирован пульт управления на базе обычного радиотелефона.

При создании информационных робототехнических конструкций особое внимание следует обращать на источники питания, так как от них в значительной степени зависит надежность, безопасность, стоимость и особенно эксплуатационные характеристики робототехнических конструкций в целом. Для стационарных информационных робототехнических конструкций в качестве источников питания, как правило, используются аккумуляторные батареи с блоками стабилизаторов напряжения. Аккумуляторные батареи могут иметь неограниченную емкость и размеры, устанавливаться стационарно в основании фигуры робота и заряжаться в нерабочее время через прилагаемые зарядные устройства, исключая наличие высоких (опасных для жизни) напряжений [1-5].

Значительно сложнее создать надежные, недорогие и, главное, безопасные источники питания для передвижных робототехнических конструкций в местах, где отсутствуют электрические сети. Прокладывать временные силовые линии к местам установок роботов для подзарядки аккумуляторов дорого, сложно, а в ряде случаев невозможно из-за их отсутствия или в связи с существующими правилами безопасности. Поэтому хорошей альтернативой при создании источника питания для переносных робототехнических конструкций являются системы сбора электрической энергии из окружающей среды, которые не требуют подключения к сети и не нуждаются в специальном обслуживании.

Наиболее распространенным источником электрической энергии из окружающей среды являются фотоэлектрические системы благодаря повсеместному распространению света, низкой стоимости и высокой надежности систем и значительным количествам энергии. Основным элементом источника являются фотоэлементы, которые в широком ассортименте выпускаются в нашей стране и за рубежом. Фотоэлементы характеризуются двумя стандартными параметрами: напряжением холостого хода  $U_{xx}$ , током короткого замыкания  $I_{кз}$  и типовой кривой мощности (рис. 1, 2).

Для извлечения максимальной мощности от фотоэлемента выходное напряжение фотоэлемента должно соответствовать пиковой мощности  $P_{\max} = 0,4$  В. При этом максимальная мощность от фотоэлемента устанавливается преобразователем LTC 3105, который поддерживает напряжение на выходе фотоэлемента на уровне максимальной отдаваемой мощности. Таким образом, преобразователь LTC3105 обеспечивает максимально извлекаемую мощность с фотоэлемента и одновременно повышает выходное напряжение с уровня сотен милливольт до 4-5 вольт, которого вполне достаточно для устойчивой работы всех механизмов робототехнических конструкций. Мощность, генерируемая фотоэлементами, пропорциональна освещенности, площади фотоэлемента и эффективности. При расчете источника питания выбор фотоэлемента определяется требуемой мощностью источника при работе в пасмурное время.

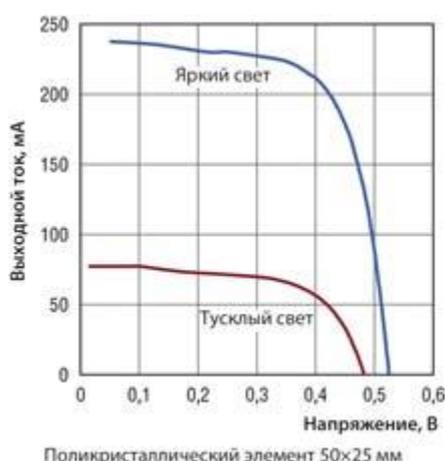


Рис. 1. Графическая зависимость ВАХ фотоэлемента

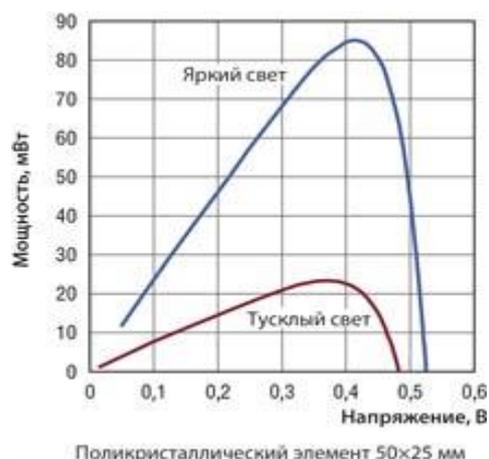


Рис. 2. Графическая зависимость мощности фотоэлемента

Важной задачей при проектировании источников питания для роботизированных конструкций является выбор аккумулятора, в качестве которого рекомендуется выбор малогабаритных аккумуляторов емкостью 1-3 А/ч. Для предотвращения разряда аккумулятора при снижении общей освещенности в состав источника питания наряду с преобразователем LTC3105 вводится шунтовой регулятор заряда LTC 4071, который обеспечивает длительную работу аккумулятора в режиме подзарядки. Принципиальная электрическая схема источника питания для передвижных робототехнических конструкций приведена на рисунке 3.

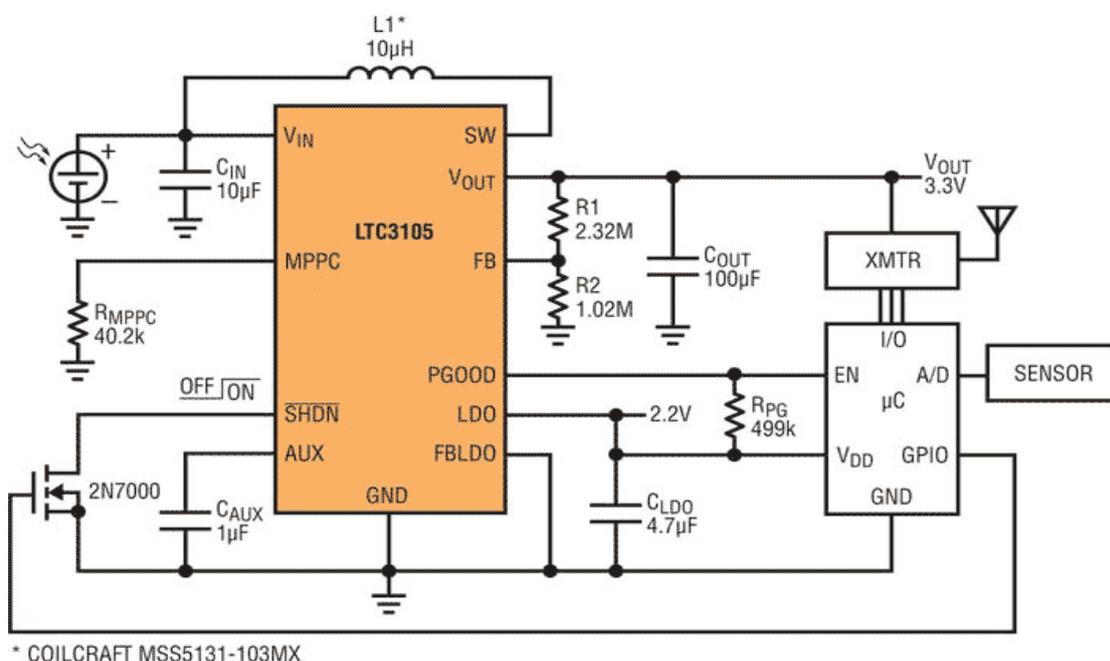


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема источника питания

Схема включает в себя два одинаковых фотоэлемента, преобразователь LTC 3105 шунтовый регулятор LTC4071 и дискретные элементы. Схема обеспечивает выходной

ток в пределах 100 мА при напряжении 4-5 В при одновременной подзарядке аккумулятора. Выбор двух последовательно соединенных фотоэлементов обеспечивает устойчивую работу преобразователя LTC3105 при снижении освещенности.

Конструктивное исполнение источника питания зависит от формы и конструкции робототехнического объекта. Например, для фигуры «Кот в сапогах», которую планируется использовать при проведении праздничных мероприятий на площади Ленина в городе Йошкар-Оле, источник питания рационально разместить в голове фигуры, причем фотоэлементы располагаются симметрично на поверхности шляпы, а остальные элементы – под поверхностью шляпы в герметичном корпусе. Источник питания с помощью разъемов подключается к механизмам робототехнической конструкции, обеспечивая надежную и безопасную работу роботизированного объекта в условиях отсутствия силовых сетей при длительных перемещениях роботизированных объектов.



Рис. 4. Кот в сапогах

*Работа выполняется при финансовой поддержке по программе «УМНИК» 2020 года, заявка № У-082354 «Разработка информационных робототехнических конструкций для культурных объектов современного города» и президентского гранта 20-1-035878 «Мы вместе» 2020 года.*

#### Список литературы

1. Герлих П. Применение фотоэлементов. Москва: Издательство иностранной литературы, 1977. 388 с.
2. Ланге Б. Фотоэлементы в науке и технике. Москва: Государственное технико-теоретическое издательство, 1980. 792 с.
3. Лукьянов С. Ю. Фотоэлементы. Москва: Академия наук СССР, 2001. 372 с.
4. Наследов Д. Твердые выпрямители и фотоэлементы. Москва: Книга по Требованию, 2012. 161 с.
5. Тумерман Л.А. Фотоэлемент и его применение. Москва: Книга по Требованию, 2012. 266 с.

#### MOBILE POWER SUPPLIES INFORMATION ROBOTIC STRUCTURES

*Lavrentiev Boris Fedorovich<sup>1</sup>, Vedenkina Lyubov Aleksandrovna<sup>1</sup>,  
Andrianov Denis Iurevich<sup>2</sup>, Safiullina Yana Mikhailovna<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

<sup>2</sup>Military innovative technopolis «ERA», Anapa

*When designing informational robotic structures, special attention should be paid to power sources, since reliability, safety, cost and especially operational characteristics of robotic structures as a whole depend on them to a large extent. For stationary informational robotic structures, as batteries, as a rule, rechargeable batteries with voltage stabilizer blocks are used. It is much more difficult to create reliable, inexpensive and, most importantly, safe power sources for mobile robotic structures in places where there are no electric networks. A good alternative when creating a power source for portable robotic structures is the collection of electrical energy from the environment, which do not require a network connection and do not require maintenance. The most common source of electrical energy from the environment is photovoltaic systems due to the widespread distribution of light, low cost and high reliability of systems and significant amounts of energy. The article describes the power supply circuit for mobile robotic structures using photocells.*

**Keywords:** *informational robotic structures, power sources, batteries energy sources, photocells, converters.*

## РЫБКИ-РОБОТЫ

*Сафиуллина Яна Михайловна<sup>1</sup>, Лаврентьев Борис Федорович<sup>1</sup>,  
Андреанов Денис Юрьевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
Lavrentevbf@volgatech.net

<sup>2</sup>Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

*Рыбки-роботы относятся к развлекательным аттракционам, устанавливаемым в культурных, развлекательных, оздоровительных и торговых центрах. Они получили широкое распространение в качестве детских игрушек при купании детей в ванночках, в качестве роботизированных обитателей в аквариумах, устанавливаемых в офисных помещениях, культурных, развлекательных и оздоровительных центрах, ресторанах и магазинах, где они привлекают посетителей своей красотой, яркими цветами, экзотичностью и способствуют популярности этих заведений. Целью настоящей работы является повышение эмоционального воздействия рыбок-роботов на посетителей за счет установки у них в каждом глазу трех цветковых светодиодов, схемы управления светодиодами, установки внутри головы механизма движения рта и жабрами и схемы управления ими. Приведены конструкция предлагаемого объекта, структурная схема блока управления, показано её функционирование.*

**Ключевые слова:** рыбки-роботы, аквариумы, детские игрушки, культурные и оздоровительные центры, повышение эмоционального воздействия, управление глазами и ртом.

**Введение.** Первые модели рыбок-роботов появились в Японии примерно 10 лет назад. Конструкторам удалось создать роботов, имитирующих форму, движение и поведение настоящих рыб. Изначально эти изобретения были направлены на решение научных задач и использовались для изучения образа жизни подводных обитателей. Однако очень быстро это стало основой для массового создания увлекательных игрушек для детей и даже взрослых. Сегодня самые разнообразные высокотехнологичные игрушки-киборги в большом количестве продаются во многих странах мира. И спрос на них с каждым годом только растет.

Рыбка-робот ничем не отличается от живой, точно так же плавает, погружается на глубину и всплывает. При этом ее не нужно кормить и чистить аквариум, совершать другие необходимые манипуляции. Такая рыбка может быть отличным подарком даже маленькому ребенку, ведь она не требует постоянного ухода, а значит не стоит беспокоиться, что малыш может не уследить за ней и она погибнет.

Придумана была подобная интересная игрушка, пожалуй, в первую очередь для таких аквариумистов-«любителей», которые не хотят утруждать себя уходом за аквариумом и заботами о живых рыбках. Фиш-роботам не требуется своевременное кормление и лечение в случае болезни, не нужно приобретать техническое оборудование и аквахимию. Замена элементов питания достаточно проста, к тому же одного набора батареек хватает для непрерывной работы в течение нескольких часов.

Рыбки-роботы быстро привлекли внимание владельцев развлекательных аттракционов, устанавливаемых в культурно-развлекательных, оздоровительных и торговых центрах. Они получили широкое распространение в качестве детских игрушек, при ку-

пании детей в ванночках, их стали использовать в качестве роботизированных обитателей в аквариумах, устанавливаемых в офисных помещениях, в ресторанах и магазинах, где они привлекают все большее число посетителей своей красотой и оригинальностью, ярким цветом, экзотичностью и способствуют росту популярности этих заведений. Рыбки-роботы не нуждаются в периодической смене воды, её очистке, не требуют кормления, лечения, соблюдения температурного режима и ежедневного контроля за их состоянием. Их можно без особого труда приобрести у многочисленных китайских, японских, американских, итальянских и российских производителей. Цена рыбок в зависимости от размеров колеблется от 200 до 2000 рублей. Художественное оформление рыбок-роботов вызывает восхищение и никого не оставит равнодушными.

Размер рыбок-роботов от 3-5 см до 100 см и более, а форма и расцветка самая разнообразная, соответствующая реальным породам рыб [7-8]. Информация об аквариумов с роботизированными обитателями со списком статей приводится на сайте интернета (Декоративные рыбки-роботы для аквариумов <https://akvarium-moskva.ru/stati-akvariumistike/rybki-roboty.html>) [1-6].

Рыбка-робот, как и ее живой прототип, имеет голову, в состав которой входят глаза, рот и жабры; туловище и хвост; внутри рыбки-робота размещаются аккумулятор, датчик включения, механизм управления движением, который подключен к хвосту рыбки.

Рыбки-роботы сделаны таким образом, что вне воды они не работают. На «суше» они могут храниться длительное время. Однако как только искусственные рыбы попадают в воду, они включаются и начинают имитировать движения настоящих декоративных аквариумных животных.

Эксплуатировать рыбок-роботов очень легко, так как они самостоятельно включаются, попадая в водную среду. Когда требуется временно отключить рыбку-робота, то достаточно просто достать ее из воды, а повторная активация возможна через любой промежуток времени.

Если в аквариуме к тому же разместить декорации, установить искусственные пластиковые водные растения, опустить в него роботов-рыбок, то можно создать отличный уголок, имитирующий прекрасный сказочный подводный мир!

Рыбки-роботы могут плавать в любой емкости с водой. Их можно запустить в обыкновенную банку с водой, в ванну, в мини-аквариум, в детский бассейн. Как и в настоящем «живом» аквариуме, аквамир, населенный рыбками-роботами, можно украсить подводными гротами и замками, расставить и закрепить искусственные растения (и совсем не обязательно водными!), красиво уложить разноцветный грунт и даже подкрасить воду неагрессивными красителями. Короче говоря, использование рыбок-роботов дома или в офисе позволяет заставить работать собственную фантазию на полную мощность.

Недостатком всех существующих рыбок-роботов является то, что, несмотря на высокое художественное оформление фиш-роботов в целом, их голова не имеет элементов движения, что существенно снижает зрелищное восприятие. Такие рыбки не переводят взгляд слева направо и обратно, не моргают, не раскрывают свой рот с острыми зубами.

**Целью** настоящей работы является повышение эмоционального воздействия рыбок-роботов на посетителей за счет установки у них в каждом глазу трех цветных светодиодов, схемы управления светодиодами, а также установки внутри головы механизма движения ртом и жабрами и схемы управления ртом и жабрами.

С этой целью сотрудниками Поволжского государственного технологического университета в 2019 году разработан проект рыбки-робота с повышенными зрелищными характеристиками.

На рисунке 1 представлен общий вид разработанной конструкции рыбки-робота, а на рисунке 2 приведена структурная схема управления рыбками-роботами, которая позволяет значительно повысить зрелищность их функционирования за счет модернизации отдельных элементов головы.

Конструкция фиш-робота содержит тело с головой, туловищем и хвостом, внутри которого размещаются аккумулятор, датчик включения, механизм управления движением. При этом выход аккумулятора подключается к датчику включения, выход датчика включения подключается к механизму управления движением, выход механизма управления движением подключен к хвосту рыбки. Такая конструкция отличается от существующих тем, что в состав головы рыбки-робота дополнительно введены схема управления глазами, каждый из которых содержит три цветных светодиода, схема управления ртом и жабрами и механизм управления ртом и жабрами, при этом вход схемы управления глазами подключен к датчику включения, выход схемы управления глазами подключен на входы цветных светодиодов каждого глаза, вход схемы управления ртом и жабрами подключен к датчику включения, а его выход – к механизму управления ртом и жабрами.

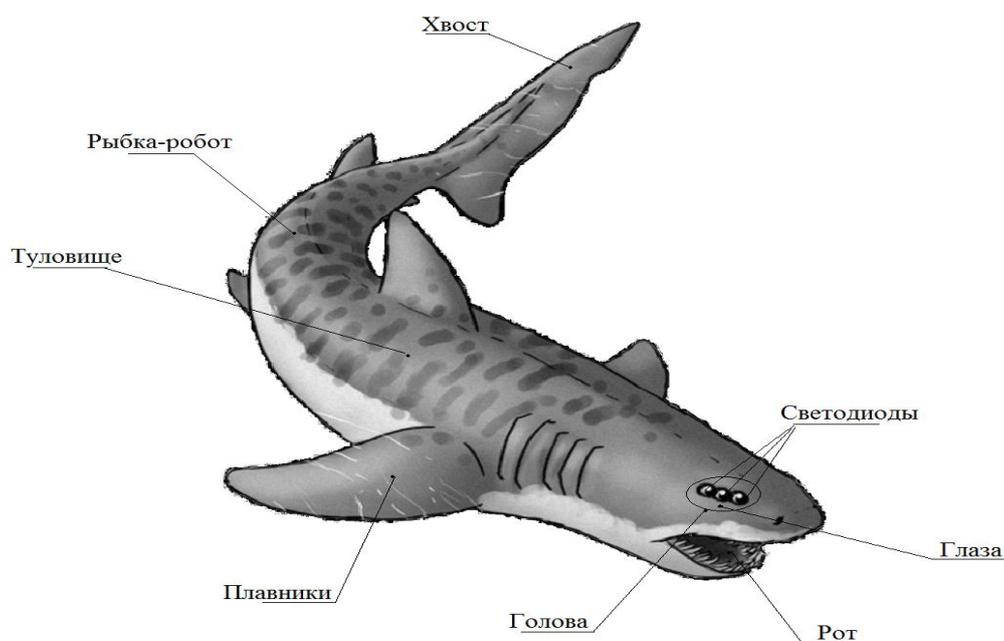


Рис. 1. Общий вид конструкции рыбки-робота

Предлагаемые рыбки-роботы имеют значительно более широкие зрительные характеристики, которые определяются наличием:

- светящихся глаз и имитации движения глаз налево, прямо и направо и моргания, за счет схемы управления глазами и использования цветных светодиодов, что значительно повышает эмоциональное воздействие на посетителей;

- кроме того, рыбки-роботы во время движения открывают рот с острыми зубами, двигают жабрами за счет формирования сигналов, поступающих с выхода механизма управления ртом и жабрами.

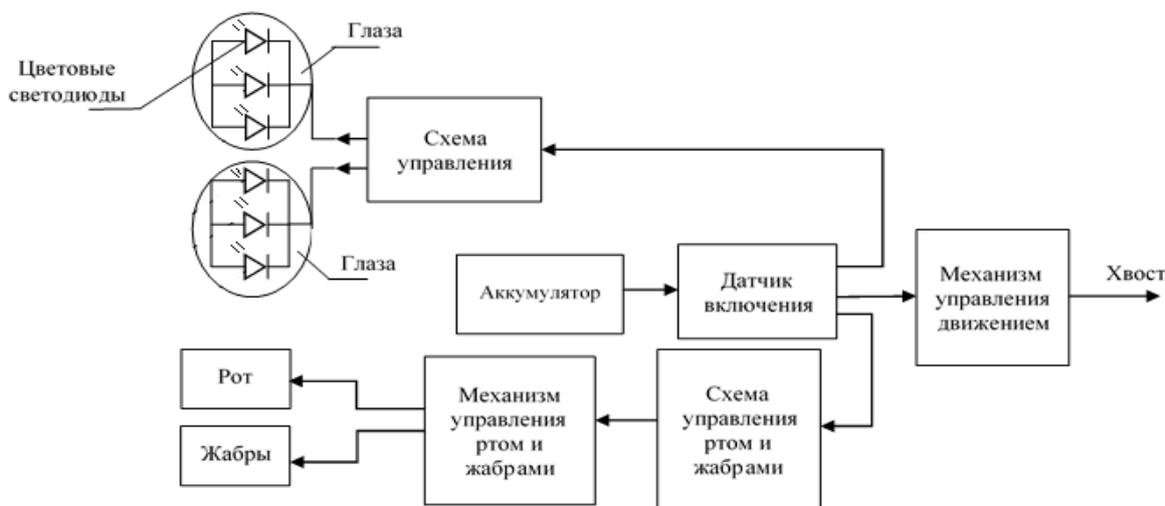


Рис. 2. Структурная схема управления рыбкой-роботом

Зрительный эффект от предлагаемых рыбок-роботов многократно повышается, если рыбок-роботов разместить в аквариуме с декорациями, установить искусственные пластиковые водные растения, кораллы, ракушки, медузы и таким образом создать отличный уголок, имитирующий прекрасный подводный мир, да еще и научить рыбок-роботов общаться с посетителями «человеческим» голосом, используя для этого внешнее управление по радиоканалу. Скептики напомнят, что рыбы вообще-то не разговаривают. Но ведь говорили человеческим голосом и Золотая рыбка, и Емелина щука. Надо верить в чудо!

В настоящее время сотрудниками Поволжского государственного технологического университета ведутся работы по созданию источника энергии в рыбках-роботах для постоянной подзарядки аккумуляторов фиш-робота за счет внешнего освещения для длительного её функционирования их в аквариуме.

**Вывод.** Аквариумы с предлагаемыми роботизированными обитателями, несомненно, станут оригинальным украшением культурных, развлекательных и торговых учреждений и будут способствовать развитию внешнего и внутреннего туризма.

*Работа выполняется при финансовой поддержке по программе «УМНИК» 2020 года, заявка № У-082354 «Разработка информационных робототехнических конструкций для культурных объектов современного города».*

Список литературы

1. Деген Бернд. Дискусы. Полный атлас. Москва: Аквариум-Принт, 2014. 320 с.
2. Домашний аквариум. Москва: Феникс, Фолио, 2010. 368 с.
3. Кассельман Кристель. Дизайн аквариума. Москва: Аквариум, 2009. 160 с.
4. Плонский В.Д. Краткий справочник аквариумиста. Москва: Аквариум-принт, 2015. 688 с.
5. Полная энциклопедия аквариумиста. Москва: Современный литератор, 2007. 640 с.
6. Цирлинг М.Б. Аквариум в каждом доме. Уход и содержание. Москва: Аквариум-Принт, 2009. 112 с.
7. <https://akvarium-moskva.ru/stati-po-kvariumistike/rybki-roboty.html>
8. <https://aquariumguide.ru/news/rybka-robot-sovety-po-ekspluatacii.html>

**FISH-ROBOTS**

*Lavrentiev Boris Fedorovic<sup>1h</sup>, Safiullina Yana Mikhailovna<sup>1</sup>, Andrianov Denis Iurevich<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

<sup>2</sup>Military innovative technopolis «ERA», Anapa

*Robot fish refers to recreational attractions installed in cultural, entertainment, wellness and shopping centers. They are widely used as children's toys when bathing children in bathtubs, as robotic inhabitants in aquariums installed in office premises, in cultural, entertainment and health centers, in restaurants and shops, where they attract visitors with their beauty, bright colors, and exoticism and contribute to the popularity of these establishments. The aim of this work is to increase the emotional impact of fish-robots on visitors by installing three color LEDs in each eye, LED control circuits, installing the mechanism for moving the mouth and gills inside the head, and controlling the mouth and gills. The design of the proposed design, the structural diagram of the control unit is described and its operation is described.*

**Keywords:** *robotic fish, aquariums, Kids toys, cultural and health centers, increased emotional impact, eye and mouth control.*

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 004.722

## РАЗРАБОТКА СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КЛАСТЕРА КАФЕДРЫ ИНФОРМАТИКИ И СИСТЕМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПГТУ

*Бородин Андрей Викторович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
bor@mari-el.com

*В работе представлены результаты проектирования физической сетевой инфраструктуры учебно-исследовательского кластера кафедры информатики и системного программирования Поволжского государственного технологического университета, обеспечивающей моделирование широкого класса сетевых топологий как для нужд учебного процесса, так и для обеспечения потребностей ряда научно-исследовательских направлений, развиваемых на кафедре.*

**Ключевые слова:** виртуализация, лабораторный практикум, программно определяемая сеть, система слабых токов, структурированная кабельная система, топология сети, троеирование.

**Введение.** Развитие информационных технологий сегодня немыслимо без сетей передачи данных (СПД) [10]. При этом к современным СПД предъявляется все больше и больше требований [1, 9]: универсальность (мультисервисность), удобство и простота эксплуатации, безопасность, высокая пропускная способность, отказоустойчивость и т. д. и т. п. Постоянное расширение присутствия СПД в жизни общества, рост сложности сетей определяют огромную роль подготовки специалистов в области сетевых технологий.

Учитывая сказанное выше, кафедра информатики и системного программирования (ИиСП) ПГТУ уделяет значительное внимание подготовке специалистов в области современных сетевых технологий. При этом огромное разнообразие технологий в указанной области формирует особые требования к сетевой инфраструктуре соответствующих учебно-исследовательских лабораторий, начиная с пассивной подсистемы СПД.

В настоящей работе представлены мотивация, обоснование и проект пассивной подсистемы сетевой инфраструктуры учебно-исследовательского кластера кафедры информатики и системного программирования ПГТУ, включающего в себя две лаборатории: «Учебно-исследовательская лаборатория системного программирования и разработки систем реального времени» и «Учебно-исследовательская лаборатория сетей

передачи данных и технологий виртуализации вычислительных ресурсов», а также инфраструктуру самой кафедры.

**Целью** настоящей работы являются:

- 1) разработка пассивной подсистемы сетевой инфраструктуры кафедры ИиСП, обеспечивающей реконфигурируемые топологии сети для двух учебно-исследовательских лабораторий по отдельности и совместно, с целью удвоения количества студентов, участвующих в совместной лабораторной работе;
- 2) разработка сетевой среды кафедры, обеспечивающей научно-исследовательскую деятельность кафедры на основе объединения вычислительных ресурсов кафедры и двух учебно-исследовательских лабораторий.

**Решаемые задачи.** Пассивная подсистема сетевой инфраструктуры учебно-исследовательского кластера кафедры ИиСП должна обеспечивать следующие возможности:

- 1) физическое моделирование различных сетевых топологий для лабораторных практикумов по дисциплинам «Операционные системы и сети» и «Компьютерные сети» для направления подготовки 09.03.04 «Программная инженерия» уровня «бакалавр»;
- 2) физическое моделирование различных сетевых топологий и демонстрация соответствующих действий на физическом кроссе против работы с программно определяемыми сетями в рамках лабораторного практикума по дисциплине «Проектирование сетевых служб» для направления подготовки 09.04.04 «Программная инженерия» уровня «магистр»;
- 3) объединение всех компьютеров двух лабораторий и кафедры в кластер над выделенной коммутируемой сетевой средой 2x1000Base-T или над средой 3x1000Base-T, включающей дублируемую выделенную коммутирующую подсистему кластера и соответствующую общеуниверситетскую подсеть. Данная возможность ориентирована на решение научно-исследовательских задач кафедры в области вычислительной теории риска, анализа данных и оптимизации;
- 4) физическое моделирование отказоустойчивых СПД на основе концепции троирования с функциональной адаптацией элементов избыточности в рамках проведения научных исследований кафедры по соответствующей тематике;
- 5) физическое моделирование СПД различных топологий в рамках научных исследований кафедры в области технологий дистрибуции точного времени в вычислительных сетях.

**Методологическая база исследования.** В основу предлагаемых в данной работе технических решений положены принципы проектирования систем слабых токов [7, 11, 13]. Концепция управления предложенной пассивной инфраструктурой базируются на современных подходах к администрированию структурированных кабельных систем [12]. Поддерживаемые сетевой инфраструктурой конфигурации определяются требованиями учебного процесса и ряда научно-исследовательских работ (НИР) кафедры: разработка отказоустойчивых СПД на основе концепции троирования с функциональной адаптацией элементов избыточности [4, 14, 17]; разработка технологий отказоустойчи-

вой дистрибуции точного времени в вычислительных сетях [3, 5, 14]. Проектируемая сетевая инфраструктура должна обеспечивать удобство проведения экспериментов по исследованию безопасности и надежности СПД [8, 15, 16], а также по созданию различных сред виртуализации [2].

**Техническое решение.** В целях решения поставленных задач для горизонтальной подсистемы предложена физическая топология типа двойная «звезда» с двумя разнесенными горизонтальными кроссами [6]: общеуниверситетским и кроссом «Учебно-исследовательской лаборатории сетей передачи данных и технологий виртуализации вычислительных ресурсов» (рис. 1). Каждое рабочее место лабораторий кафедрального кластера оборудовано двумя портами общеуниверситетской сети и двумя портами выделенной кафедральной «звезды»; каждое рабочее место зоны управления предполагает использование по три порта каждой из двух используемых физических подсетей. Рабочие места кафедры оборудованы двумя портами общеуниверситетской сети и одним портом выделенной «звезды». Кроме того, в кластере предусмотрено использование трех точек консолидации (над подвесным потолком для подключения беспроводного сервисного оборудования), содержащих по одному порту каждой «звезды».

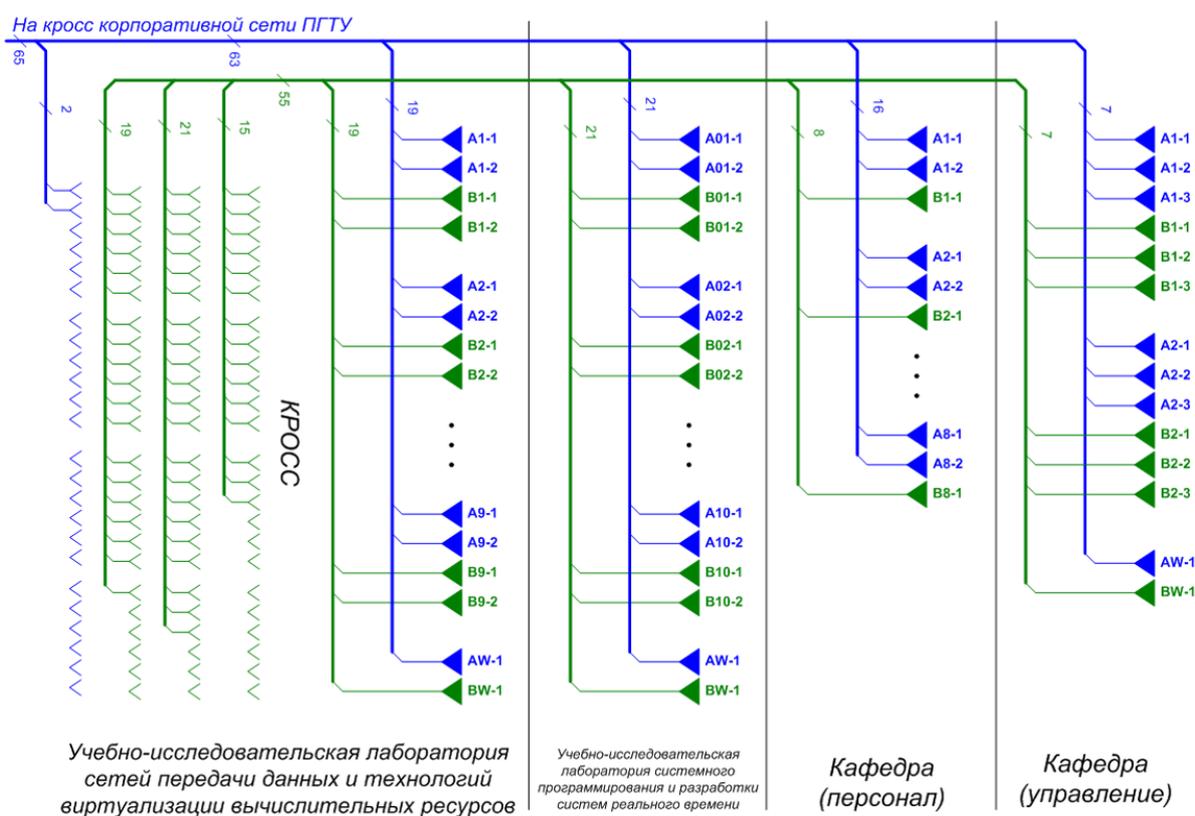


Рис. 1. Физическая топология сети

В сочетании с коммутационной средой второго уровня в учебно-исследовательском кластере кафедры ИиСП предложенная физическая топология сети позволяет легко моделировать различные логические топологии (рис. 2). Это линейные и кольцевые структуры (а) с использованием лишь штатных портов рабочих мест, а также более

сложные топологии, например, звезды с кольцевыми ядрами (b), (c) и т. п. с использованием дополнительных межсоединений. Базовые сетевые карты компьютеров, установленных на рабочих местах, обеспечивают связь с общеуниверситетской сетью и поддерживают доменные функции сети. Дополнительные сетевые адаптеры участвуют в моделировании сетей. Для моделирования маршрутизаторов удобно использовать эмулятор проекта Dynamips [17]. Моделируемые сетевые топологии позволяют реализовывать широкий набор лабораторных работ для дисциплин, связанных с сетевыми технологиями. Использование коммутационной среды третьего уровня в учебно-исследовательском кластере кафедры ИиСП позволяет еще значительно расширить возможности моделирования логических топологий.

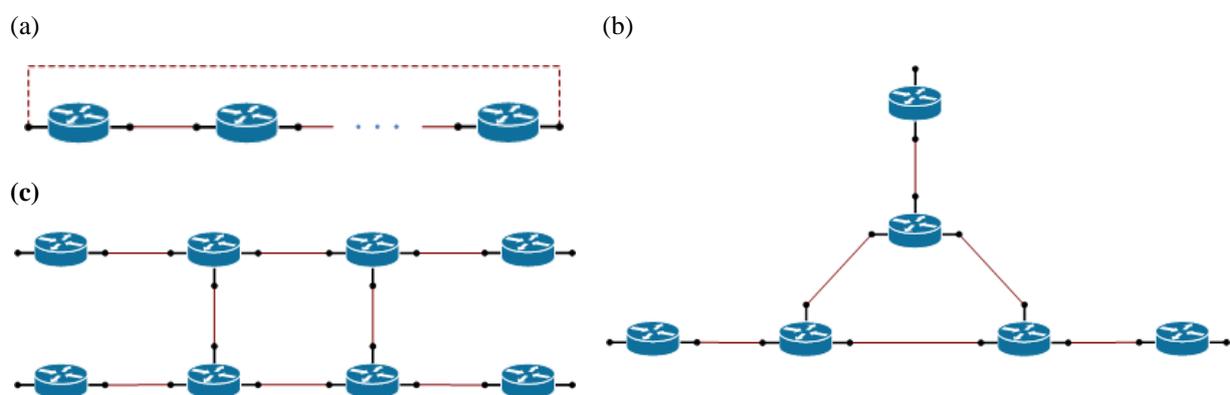


Рис. 2. Примеры моделируемых логических топологий

**Обсуждение результатов исследования.** Важным свойством спроектированной физической сети является возможность моделирования отказоустойчивых вычислительных сетей специального назначения, основанных на концепции троирования с функциональной адаптацией элементов избыточности, отраженной на рисунке 3.

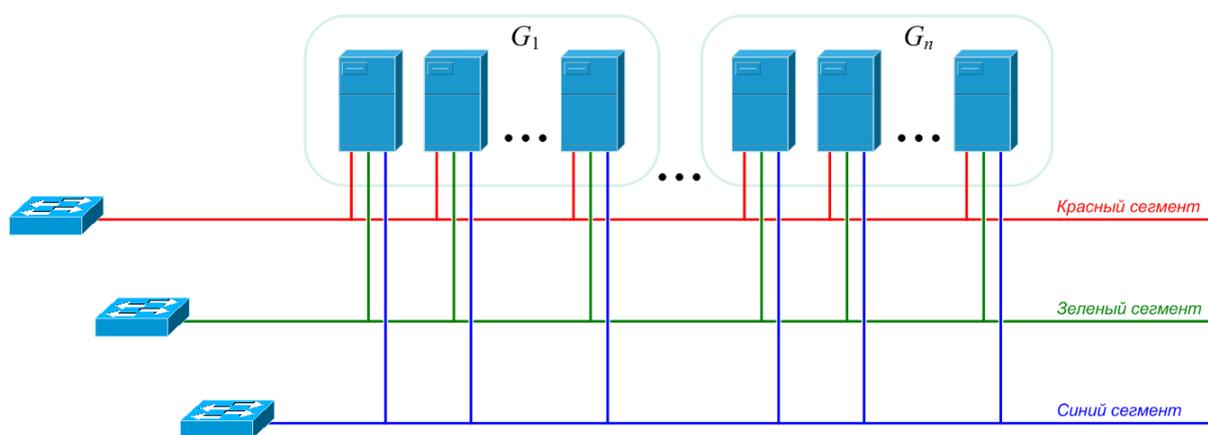


Рис. 3. Топология отказоустойчивой сети, основанной на концепции троирования

С одной стороны, приведенная топология позволяет проводить эксперименты с сетями соответствующих топологий в рамках отладки программного обеспечения поддержки отказоустойчивости, а с другой – она может быть использована в отказоустой-

чивых системах дистрибуции точного времени, а также при формировании высокопроизводительных вычислительных кластеров для других НИР кафедры ИиСП.

**Перспективные направления исследований.** Важнейшим направлением развития представленного проекта является реализация высокочастотной подсистемы, ориентированной на коммутацию в антенно-фидерной подсистеме эталонов времени и частоты, базирующейся на системах глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС, а также формирование поля коммутации эталонного синусоидального сигнала 10 МГц и сигналов 1PPS. Это направление связано с развитием такого научного направления кафедры, как исследования в области разработки систем дистрибуции точного времени в защищенных мультисервисных СПД [5].

**Выводы.** Основным результатом представленного исследования является проект структурированной кабельной системы учебно-исследовательского кластера кафедры ИиСП, способной обеспечить моделирование широкого класса сетевых топологий для нужд как учебного процесса, так и научно-исследовательской работы кафедры. Предлагаемое решение можно считать оптимальным по критерию «стоимость владения / количество вариантов использования».

#### Список литературы

1. Битнер В. И., Михайлова Ц. Ц. Сети нового поколения – NGN. Москва: Горячая линия – Телеком, 2011. 226 с.
2. Благоразумов А. К., Кирпичев И. Г., Петров Д. В. Изоляция вычислительных сетей предприятия с использованием виртуализации серверов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019. Т. 22, № 6. С. 100-111. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-6-100-111.
3. Бородин А. В. Об импортозамещении при создании систем дистрибуции точного времени в мультисервисных сетях передачи данных // Кибернетика и программирование. 2015. № 2. С. 78-97. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.2.14036.
4. Бородин А. В. Техничко-экономическое обоснование варианта резервирования сетевой компоненты отказоустойчивой масштабируемой вычислительной системы специального назначения // Кибернетика и программирование. 2015. № 6. С. 55-70. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.6.17523.
5. Бородин А. В., Варламов А. С., Кораблев Д. В. Учебно-испытательный полигон отработки технологий дистрибуции точного времени // Кибернетика и программирование. 2015. № 3. С. 11-23. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.3.15438.
6. ГОСТ Р 53246-2008. Информационные технологии. Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования. Москва: Стандартинформ, 2009. 72 с.
7. Кардаш С. М., Вишняков А. С. Основные положения научно-методического аппарата обоснования структуры локальной вычислительной сети комплекса средств автоматизации пункта управления соединения противовоздушной обороны // I-methods. 2019. Т. 11, № 4. С. 1-9.
8. Карпенко Е. А., Мухтаров А. А., Шегал А. А. Анализ надежности аппаратуры локальной вычислительной сети // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2019. Т. 2, № 3. С. 401-410.
9. Корнеев И. Н., Фень С. Г. Сетевые структуры телекоммуникационной индустрии. Зарубежный опыт и российские перспективы. Москва: Горячая линия – Телеком, 2005. 136 с.
10. Махова А. В., Нелипа А. В. Анализ развития информационного пространства в России с 2003 по 2017 гг. // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 51-4. С. 57-59.

11. Проектирование систем слабых токов / А. Б. Романов, М. Ю. Тайнов, М. Ф. Тюхин, А. Б. Семенов. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 478 с.
12. Семенов А. Б. Администрирование структурированных кабельных систем. Москва: ДМК Пресс; Москва: Компания АйТи, 2008. 192 с.
13. Семенов А. Б. Структурированные кабельные системы для центров обработки данных. Москва: Компания Стинс Коман; ДМК Пресс, 2014. 232 с.
14. Научные ответы на вызовы современности: техника и технологии. Кн. 1 / В. В. Тарасов, Г. П. Кича, А. В. Куликов и др. Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2016. 177 с.
15. Уразаева Т. А. Модели риска в технико-экономическом обосновании инфраструктурных решений // Современные проблемы и перспективы социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов: сборник статей. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. С. 161–164.
16. Уразаева Т. А. Совокупная стоимость владения и риск в задачах инфраструктурной оптимизации вычислительных сетей // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды Международной научной школы МАБР-2009. Санкт-Петербург: ГУАП, 2009. С. 315-320.
17. Яровиков Г. В., Бородин А. В. О технологии моделирования систем дистрибуции точного времени в средах с троированием сетей передачи данных // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2016. № 4. С. 241-244.

**DEVELOPMENT OF THE NETWORK INFRASTRUCTURE OF THE TRAINING  
AND RESEARCH CLUSTER OF THE DEPARTMENT OF INFORMATICS  
AND SYSTEM PROGRAMMING OF PSTU**

*Borodin Andrey Viktorovich*  
Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The papers presents the results of designing the physical network infrastructure of the educational and research cluster of the Department of Informatics and System Programming of PSTU, which provides modeling of a wide class of network topologies, both for the needs of the educational process and to meet the needs of a number of research areas developed at the department.*

**Keywords:** *virtualization, laboratory course, software-defined network, intelligent building cabling system, structured cabling, network topology, triplication.*

УДК 004.415.24

**О СВЕДЕНИИ ЗАДАЧИ ДЕОБФУСКАЦИИ КОДА К ЗАДАЧЕ  
ФАКТОРИЗАЦИИ БОЛЬШИХ ЧИСЕЛ**

*Бородин Андрей Викторович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
bor@mari-el.com

*В работе предложен вариант постановки задачи противодействия реверс-инжинирингу кода в рамках императивной парадигмы программирования. Основываясь на ранних работах автора по разработке методологии обфускации кода и рандомизации потока управления на основе эквивалентных преобразований программ, управляемых псевдослучайными процессами, показана возможность создания стойкого обфускатора в предложенной постановке. Факти-*

чески продемонстрирована возможность сведения проблемы деобфускации в рассматриваемом случае к задаче факторизации больших чисел.

**Ключевые слова:** императивная парадигма программирования, обфускация, поток управления, реверс-инжиниринг, факторизация.

**Введение.** Технологии реверс-инжиниринга кода, разработанного в рамках императивной парадигмы программирования, являются сегодня наиболее развитыми в ряду подходов к исследованию программного обеспечения. Наличие и эффективность этих технологий способствуют облегчению нарушения авторских прав в сфере разработки программного обеспечения, делают возможными быстрые, в том числе автоматизированные, атаки на целостность программного обеспечения, способствуя тем самым достижению целей злоумышленников. Таким образом, задача противодействия реверс-инжинирингу является актуальной.

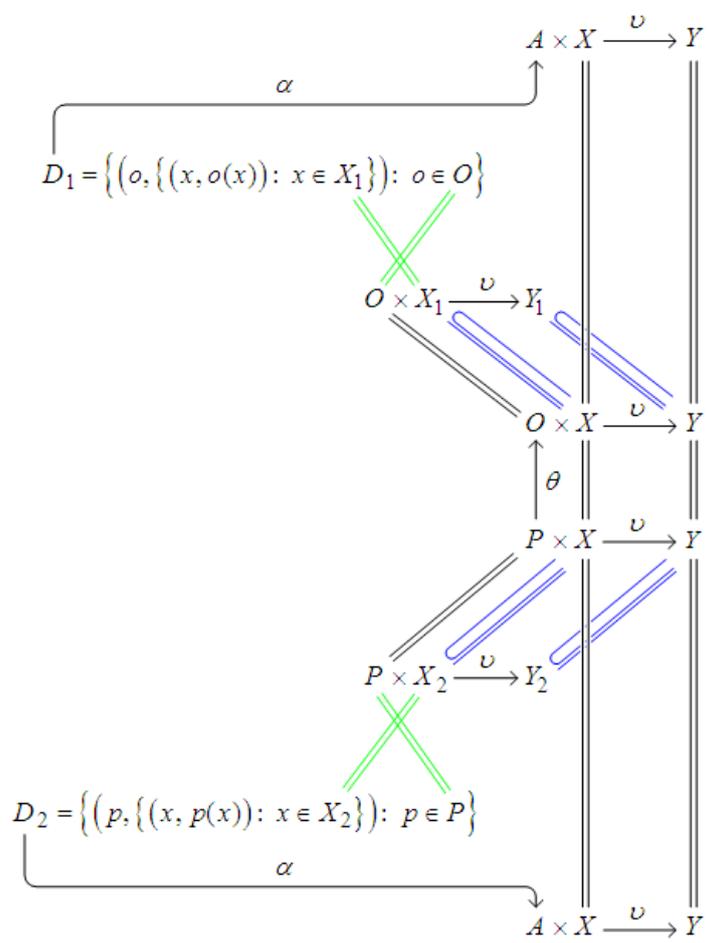
Базовая технология противодействия реверс-инжинирингу – это обфускация (запутывание) кода. Долгое время технологии обфускации носили чисто инженерный характер, они были призваны лишь в какой-то степени затруднить анализ программного обеспечения. Автоматизация технологий реверс-инжиниринга не оставляла шансов противодействию угрозе. Строгая математическая постановка проблемы обфускации долго не давала существенных результатов. Лишь в последнее десятилетие в обсуждаемой проблеме наметился прогресс, он связан с работами по обфускации программ в модели «черного ящика» и обфускации неразличимости [6, 7]. Несмотря на весьма позитивную реакцию на эти работы со стороны специалистов в области криптографии (криптологии), прогресс в сторону практической реализации предложенных идей пока невысок.

В настоящей работе предлагается подход, способный преодолеть проблему уязвимости кода к реверс-инжинирингу, в том числе в условиях глубокой автоматизации последнего, в ряде частных случаев применения программного обеспечения. Подход основан на управлении потоком управления программы, разбитой на проблемно не интерпретируемые или плохо интерпретируемые примитивы, на основе последовательности данных, порождаемой алгоритмом с секретом. Причем отсутствие секрета делает задачу порождения необходимых данных математически трудной задачей. В этом смысле предлагаемый подход обеспечивает доказуемую стойкость (в смысле признания криптографическим сообществом).

**Цель работы** – представить новейшие достижения в области обфускации кода, разрабатываемого в рамках императивной парадигмы программирования, полученные в последние годы на кафедре информатики и системного программирования Поволжского государственного технологического университета.

Важнейшим аспектом работы является демонстрация возможности построения практически легко реализуемого криптографически стойкого решения задачи обфускации кода при заданных ограничениях применения алгоритма. Отдельно будут рассмотрены факторы, влияющие на стойкость предлагаемого решения.

**Понятие обфускации.** Рассмотрим классическое определение обфускации [1, 2, 4]. Для этого вначале рассмотрим следующую коммутативную диаграмму:



Здесь использованы следующие обозначения:  $P$  – множество программ;  $X$  – множество исходных данных для программ из множества  $P$ ;  $Y$  – множество результатов выполнения программ из множества  $P$  с исходными данными из множества  $X$ ;  $\nu$  – отображение, реализуемое вычислителем (компьютером);  $O$  – множество обфусцированных программ;  $\theta$  – отображение, реализуемое обфускатором (специальной программой некоторого вычислителя);  $X_1$  – некоторое подмножество множества  $X$ ,  $X_1 \subseteq X$ , на диаграмме это отношение представлено соответствующим удлинненным знаком;  $Y_1$  – подмножество множества  $Y$ ,  $Y_1 \subseteq Y$ , содержащее результаты выполнения обфусцированных программ из множества  $O$  с исходными данными из множества  $X_1$ ;  $D_1$  – наблюдаемое атакующим субъектом множество обфусцированных программ с некоторой частью примеров их выполнения, определяемой множеством  $X_1$ ;  $A$  – множество реконструированных атакующим субъектом программ на основе исследования элементов множества  $D_1$  (или  $D_2$ ) с использованием алгоритма реконструкции (рефакторинга), представленного на диаграмме отображением  $\alpha$ ;  $X_2$  – некоторое подмножество множества  $X$ ,  $X_2 \subseteq X$ ;  $Y_2$  – подмножество множества  $Y$ ,  $Y_2 \subseteq Y$ ,

содержащее результаты выполнения программ из множества  $P$  с исходными данными из множества  $X_2$ ;  $D_2$  – наблюдаемое атакующим субъектом множество исходных программ с некоторой частью примеров их выполнения, определяемой множеством  $X_2$ ; две параллельные линии – суть биекция.

Введенная таким образом модель предметной области может быть использована для построения определения обфускации.

**Определение.** Алгоритм  $\theta$  назовем *обфускатором* для класса программ  $P$ , если справедливы следующие три свойства.

1) Сохранение функциональности:

$$\forall p (p \in P) \forall x (x \in X) [\theta(p)(x) = p(x)].$$

2) Не более чем полиномиальное снижение эффективности:

$$\forall p (p \in P) [|\theta(p)| \leq \pi_s(|p|)],$$

$$\forall p (p \in P) \forall x (x \in X) [\tau(\theta(p)(x)) \leq \pi_t(\tau(p(x)))],$$

где  $|p|$  – сложность программы  $p$  по объему кода;  $\pi_\bullet$  – некоторая полиномиальная функция;  $\tau(p(x))$  – время выполнения программы  $p$  с исходными данными  $x$ .

3) Стойкость к реконструкции:

$$\forall p (p \in P) [\tau(\alpha|D_1, O = \{\theta(p)\}) \gg \tau(\alpha|D_2, P = \{p\})],$$

где  $\tau(\alpha|D_1, O = \{\theta(p)\})$  – время исполнения сужения отображения  $\alpha$  на множество  $D_1$  для случая, когда множество  $O$  содержит один элемент – результат обфускации программы  $p$ ;  $\tau(\alpha|D_2, P = \{p\})$  – время исполнения сужения отображения  $\alpha$  на множество  $D_2$  для случая, когда множество  $P$  содержит один элемент – программу  $p$ .

Прорывная работа [7] ознаменовала новый этап в создании стойких обфускаторов. Однако в практическое русло эти разработки вплоть до сегодняшнего дня еще не вошли.

В настоящей статье предлагается использовать модификацию приведенного определения обфускации в части третьего условия – стойкости к реконструкции – так, как это предлагается в работе [1]:

$$\exists X_1, X_2 (X_1 \neq X_2) \forall p (p \in P) \exists \theta$$

$$\left[ \tau(\alpha|D_1 = \{(\theta(p), \{(x, o(\theta(p))) : x \in X_1\})\}) \gg \right.$$

$$\left. \tau(\alpha|D_2 = \{(p, \{(x, p(x)) : x \in X_2\})\}) \right].$$

Такое формальное определение будем называть *определением обфускации при заданных ограничениях применения*.

Представляется, что в контексте нового варианта определения возможно существование стойких обфускаторов, которые могут быть относительно легко реализованы на практике в рамках императивной парадигмы программирования.

**Техническое решение.** В работах [2, 4] была предложена технология обфускации, предполагающая реализацию ряда этапов эквивалентного преобразования программ:

1) деструктуризация кода (синтаксически управляемое преобразование традиционно структурированной программы к спагетти-коду);

2) преобразование спагетти-кода к структуре выбора, в которой альтернативы занумерованы элементами (или наборами элементов) множества, на котором действует некоторая циклическая группа отображений;

3) поток управления, соответствующий спагетти-коду, реализуется за счет последовательного действия образующего элемента циклической группы для линейных участков кода и за счет обновления текущей нумерации при переходах.

В качестве циклической группы в работах [2, 4] предлагалось использование множества преобразований, образуемых степенями линейного конгруэнтного преобразования над конечным множеством соответствующих вычетов.

Такая технология обфускации существенно повышала трудоемкость ручного рефакторинга программ, но оказывалась бессильной перед автоматизированными методами анализа.

Предположим, теперь, что мы хотим гарантированно скрыть функциональность программы лишь для конечного числа вариантов использования.

Пусть  $c_0 = \prod_{i=1}^n p_i$ ,  $p_i \in \mathbb{P}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ ,  $\mathbb{P}$  – множество простых чисел. Числа  $p_i$  известны только разработчику программы,  $i=1, 2, \dots, n$ . Число  $c_0$  содержится в программе. Предъявление программе числа  $p_i$  может быть проверено по условию  $c_0 \equiv 0 \pmod{p_i}$  и вызывает вычисление  $c_i = c_0 / p_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ .

Теперь заметим, что возможно представление  $c_i = \sum_{j=0}^m a_j^{(i)} x^j$ ,  $i=0, 1, \dots, n$ , где  $x = 2^e$  и, например,  $e = 32$ .

В случае, когда последовательность  $\left(a_j^{(i)}\right)_{j=0}^{j=m}$  содержит лишь уникальные элементы, можно заменить ранее использовавшуюся при обфускации циклическую группу на полугруппу движений вдоль этой последовательности. В этом случае мы получаем при  $i=0$  наблюдаемую функциональность программы, доступную рефакторингу, а при остальных  $i=1, 2, \dots, n$  имеет место замаскированная функциональность, требующая для рефакторинга решения задачи факторизации. Известно, что при правильном выборе простых чисел задача факторизации их произведения вычислительно трудна [5]. Иначе говоря, мы реализовали возможность выполнить  $n$  раз практически недоступную для рефакторинга функциональность, например, проконтролировать целостность кода.

Важным фактором повышения стойкости описанного подхода к обфускации является использование не всей последовательности  $(a_j^{(i)})_{j=0}^{j=m}$  для формирования подгруппы движений, задающей поток управления, а только ее непрерывной части. Это может существенно затруднить реализацию атаки, заключающейся в комбинаторном переборе сочетаний элементов нумерации в структуре выбора при реализации специализированного для нее (атаки) алгоритма факторизации больших чисел.

**Обсуждение результатов.** Предложенное техническое решение по реализации стойкой обфускации кода фактически представляет собой вариант использования идеи мультипликативного метода разделения секрета (ММРС) [3]. При этом основным недостатком ММРС, заключающийся в линейно растущем объеме депонируемой информации с ростом числа владельцев секрета, здесь оказывается преимуществом, так как чем больше код защищаемой программы, тем большим должно быть число  $c_0$  – депонируемый в данном случае в программе элемент.

**Перспективные направления исследований.** Дальнейшими направлениями развития представленных результатов является исследование возможности сведения проблемы обфускации кода при заданных ограничениях применения к другим вычислительно трудным задачам, а также адаптация полученных результатов к эпохе постквантовой криптографии.

Другим связанным направлением исследований является использование представленного подхода при создании технологий скрытых вычислений в туманных и облачных средах. Это направление исследований представляет особый интерес, так как фактически знаменует формирование технологий новых видов вооружений.

**Выводы.** В рамках представленного исследования введено понятие обфускации при заданных ограничениях применения. Показана возможность создания стойких обфускаторов программ при заданных ограничениях применения на примере сведения задачи рефакторинга программы к задаче факторизации больших чисел.

#### Список литературы

1. Бородин А. В. Вариант постановки задачи противодействия реверс-инжинирингу кода в рамках императивной парадигмы программирования // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2019. № 4. С. 8-12.
2. Бородин А. В. Линейные конгруэнтные последовательности максимального периода в задачах обфускации программ // Кибернетика и программирование. 2016. № 6. С. 1-19. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.6.18499.
3. Бородин А. В., Уразаева П. С. Об одном подходе к решению задачи разделения ключа доступа к секрету // Образование и наука в современных реалиях: материалы IV Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 26 февраля 2018 г.). Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2018. С. 184-187. DOI: 10.21661/r-469647.
4. Перспективные тренды развития науки: техника и технологии. Т. 1 / И. Я. Львович, В. А. Некрасов, А. П. Преображенский и др. Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2016. 197 с.
5. Сонг, Й. Я. Криптоанализ RSA. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. 312 с.

6. Apon D. Cryptanalysis of indistinguishability obfuscation of circuits over GGH13 // ICALP 2017. LNCS. Vol. 80. Heidelberg: Springer, 2017. 33 p.

7. Candidate indistinguishability obfuscation and functional encryption for all circuits / S. Garg, C. Gentry, S. Halevi, M. Raykova, A. Sahai, B. Waters // 54th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, FOCS 2013, October 2013. Berkeley: IEEE Computer Society, 2013. P. 40-49. DOI: 10.1109/FOCS.2013.13.

## ABOUT REDUCING CODE DEOBFUSCATION PROBLEM TO LARGE NUMBER FACTORIZATION PROBLEM

*Borodin Andrey Viktorovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The paper proposes the option of setting the problem of counteracting code reverse engineering within the framework of the imperative programming paradigm. Based on the author's early work on developing a methodology for code obfuscation and randomization of the control flow based on equivalent transformations of programs controlled by pseudo-random processes, the possibility of creating a persistent obfuscator in the proposed production is shown. In fact, the possibility of reducing the deobfuscation problem in this case to the problem of factorization of large numbers has been demonstrated.*

**Keywords:** imperative programming paradigm, obfuscation, control flow, reverse engineering, factorization.

УДК 004.42

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ АРХИТЕКТУРЫ, ПОРОЖДАЮЩЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ГЕНЕРАЦИИ СЕРИЙ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ТИПА

*Уржумов Даниил Владимирович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
urzhumovdv@volgatech.net

*Исследованы технические аспекты реализации программных генераторов последовательностей значений многомерных параметрических пространств. Осуществлен анализ проблемы построения программной архитектуры, синтезирующей удобный интерфейс пользователя для генерации последовательностей значений. Выявлены архитектурные решения, обеспечивающие выполнение поставленных задач по унификации интерфейса настройки и обеспечения алгоритма итерирования по серии генераторов. Спроектирована программная архитектура для синтеза элементов пользовательского интерфейса, соответствующая заявленным требованиям. В заключение определена возможность интеграции результатов в исследование многофакторных автоматически конфигурируемых систем.*

**Ключевые слова:** программная архитектура, интерфейс пользователя, генерация наборов данных, динамическая типизация, автоматически конфигурируемые системы.

**Введение.** При решении задач имитационного моделирования, аппроксимации, а также использовании численных методов решения возникает необходимость последо-

вательного перебора последовательностей значений параметров из заданного набора [1, 2]. Непосредственная реализация элементов интерфейса средствами визуальной разработки либо с использованием элементарной композиции классов в иерархии приводит к заметному снижению качества кода, способствующему возникновению ошибок при его дальнейшем использовании.

Подобное явление имеет две причины:

- дублирование кода в методах настройки элементов интерфейса пользователя и генерации параметров вследствие необходимости реализации данных методов для каждого типа, а также отсутствие совместимости большинства библиотек пользовательских интерфейсов с методами обобщенного программирования, основанными на шаблонах;
- усложнение кода методов, использующих элементы пользовательского интерфейса, вследствие отсутствия унифицированного интерфейса итерации по нескольким параметрам.

Разработка пользовательского интерфейса, обеспечивающего подобный перебор значений, осложнена рядом аспектов проектирования унифицированных интерфейсов и механизмов взаимодействия компонентов интерфейса:

- 1) возможность настройки границ и шага тестируемого параметра при реализации универсального элемента пользовательского интерфейса осложняется необходимостью реализации разных методов автоматической и полуавтоматической настройки для различных типов данных целевого параметра;
- 2) проблемы совместимости с различными типами параметра обусловлены различным набором допустимых для типа операций, что вынуждает проектировать универсальную метапроцедуру, поддерживающую набор обобщенных аргументов для настройки атрибутов параметра каждого типа;
- 3) совместное использование нескольких генераторов серий параметров вызывает необходимость в механизме итерации, обеспечивающие корректную обработку условий продолжения итерации и ее окончания как в случае отдельного набора итерируемых параметров, так и при наличии среди них заданных константными.

**Цель работы** – спроектировать унифицированную для поддержки генерации параметров, относящихся к разным типам данным, архитектуру генерации элементов интерфейса пользователя, обеспечивающую возможность единообразной настройки диапазона и шага итерируемого параметра, а также перебора значений при совместном использовании группы генераторов с возможностью сочетания генерации итерируемых и константных параметров.

**Решаемые задачи.** В процессе проектирования унифицированной архитектуры генерации пользовательских интерфейсов предполагается решить следующие задачи:

- реализовать обобщенные методы настройки атрибутов генерации параметров, поддерживающих различные способы автоматической и полуавтоматической настройки;
- реализовать обобщенный алгоритм последовательного прохождения итераций по нескольким элементам управления с учетом возможного задания элементу константного параметра.

**Анализ предметной области и проектирование.** Настройка атрибутов генератора в зависимости от типа генерируемого параметра может быть осуществлена несколькими способами:

1. Для целочисленных типов параметра возможна инкрементация параметра на единицу на каждом шаге. При этом задаются только границы диапазона. Подобный подход целесообразно реализовывать как метод по умолчанию для генераторов параметров целочисленного типа;

2. Непосредственное указание как диапазона, так и шага при итерации параметров может быть применено для параметров любых числовых типов;

3. Для вещественных типов можно применить методику расчета шага на основании оптимального числа интервалов, при этом необходимо задать только диапазон. Подобный подход может быть использован по умолчанию для параметров вещественных типов.

Таким образом, возможно реализовать настройку атрибутов генератора в виде единственного шаблонного метода, принимающего в качестве первых двух аргументов границы диапазона. Третьим аргументом может передаваться экземпляр шаблонного класса, инициализация которого осуществляется по передаваемому в конструктор шаблонному параметру значения шага либо его отсутствию. При наличии такого параметра выбирается метод ручной настройки шага, при отсутствии – метод для типа данных параметра по умолчанию.

Построение унифицированного для различных типов данных интерфейса осложняется отсутствием шаблонных реализаций в распространенных библиотеках элементов управления. Дополнительной сложностью является реализация элементов управления типа «двунаправленный счетчик» для различных типов данных в виде отдельных классов, порожденных от общего базового класса, который предоставляет общие методы преимущественно для процедур отрисовки элемента управления. Подобная реализация приводит к необходимости в шаблонной обертке над методом получения значения элемента пользовательского интерфейса, поскольку, несмотря на одинаковую сигнатуру, такие методы не являются реализациями базового метода.

Нешаблонная реализация элементов управления также приводит к невозможности унаследовать шаблонный класс от элемента пользовательского интерфейса, сохранив поддержку сигнальной системы, а также отсутствие прямой ассоциации элемента пользовательского интерфейса с типом данных, который он возвращает [3]. Это порождает необходимость организовать иерархию классов, состоящую из порождающего класса, в задачу которого входит установление соответствия элемента пользовательского интерфейса типу параметра, хранящегося в нем, и класса оболочки, объединяющего в себе набор элементов пользовательского интерфейса для генерации одного параметра [4].

При итерировании сочетаний разных значений для нескольких генераторов приходится учитывать как фактор значения внутренней переменной генератора и типа его генерации, так и было ли изменено состояние этого параметра для предшествующих генераторов в ходе текущей итерации.

Подобное сочетание факторов порождает следующие допустимые условия:

1. Генератор константного значения возвращает установленное в него значение и не изменяет логическое значение, информирующее об изменении значений генераторов на текущей итерации;
2. Генератор переменного значения при подаче на вход истинны, сигнализирующей о том, что итерирование было осуществлено на предыдущем генераторе, возвращает сохраненное в нем текущее значение без изменения и не изменяет логическую переменную;
3. Генератор переменного значения при подаче на вход ложного значения и при условии, что сумма внутреннего значения и шага меньше или равна верхней границы диапазона, возвращает внутреннее значение, предварительно увеличив его на величину шага, и устанавливает логическое значение в истину;
4. Генератор переменного значения при подаче на вход ложного значения и при условии, что сумма внутреннего значения и шага больше верхней границы диапазона, возвращает внутреннее значение, установленное в нижнюю границу, и не изменяет логическое значение с целью выполнения инкрементации на следующем генераторе либо окончания итерирования, если текущий генератор замыкает последовательность.

**Интерпретация результатов.** На рисунке представлена диаграмма классов генератора.

Семейство шаблонных классов *SpinBoxController* устанавливает соответствие между элементом пользовательского интерфейса *Control* и возвращаемым из него типом *T*, заданными в виде двух аргументов шаблона, а также обеспечивает базовые методы доступа к значению параметра *value* и *next* с учетом его вариабельности либо константности, а также осуществления итерации предыдущим элементом интерфейса пользователя, переданном в переменной логического типа.

Порожденное от *SpinBoxController* семейство шаблонных классов *TypeSpinBoxController* позволяет свести количество аргументов шаблона при декларации порождающей процедуры к одному, указывающему тип данных генерируемого параметра. Подобное редуцирование требует явной декларации соответствия элемента пользовательского интерфейса его возвращаемому типу, как это реализовано в специализациях шаблона *TypeSpinBoxController<int>* и *TypeSpinBoxController<double>*, реализующих имплементации *SpinBoxController<int, QSpinBox>* и *SpinBoxController<double, QDoubleSpinBox>* базового шаблонного семейства *SpinBoxController*. Подобная реализация позволяет осуществить обобщенный подход к генерации серии значений параметров, который в процессе специализации класса из семейства посредством указания типа данных формирует методы, наиболее эффективно оперирующие с указанным типом.

Класс *RangebleParameterControl* обеспечивает унифицированный, настраиваемый элемент пользовательского интерфейса для генерации серии значений заданного параметра. Данный класс унаследован от стандартного класса библиотеки элементов пользовательского интерфейса кроссплатформенного инструментария Qt *QGroupBox*, описывающего структуру для группировки других элементов интерфейса.

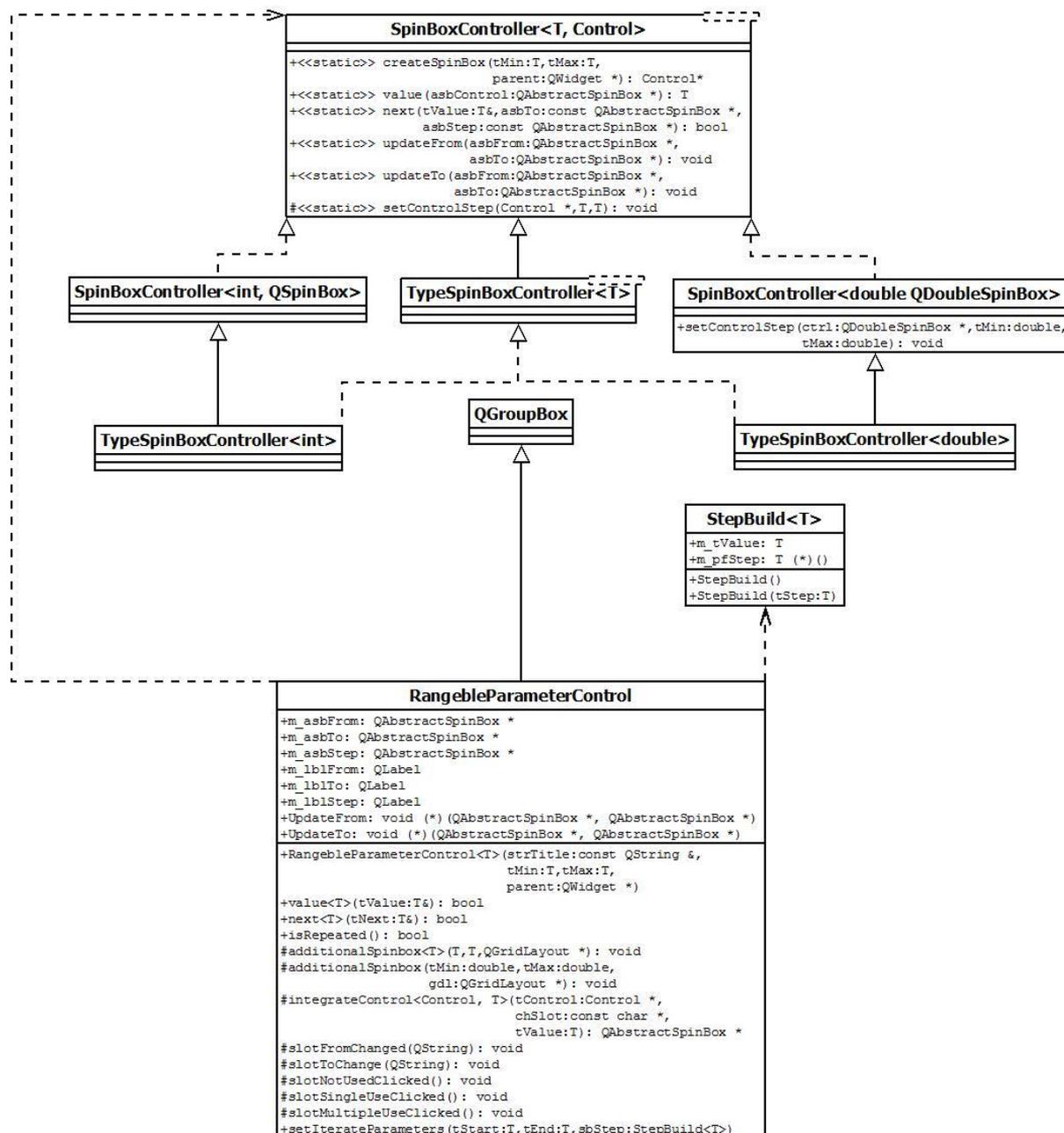


Диаграмма классов генератора пользовательских интерфейсов

*SpinBoxController*, специализированный на основе параметра своего конструктора, применяется для построения интерфейса генерации семейства значений параметра. В своих данных класс содержит атрибуты генерации серии параметров, а также указатели на элементы пользовательского интерфейса, инкапсулированные в классе. Конструктор класса *RangebleParameterControl* принимает в качестве аргументов имя генерируемого параметра, границы диапазона генерации, а также указывает на родительский элемент пользовательского интерфейса. Методы *value* и *next* являются точками доступа к одноименным методам типизированного класса семейства *SpinBoxController*, а метод *isRepeated* информирует о текущей настройке элемента интерфейса на генерацию итерированной

емого либо константного параметра. Класс *RangebleParameterControl* поддерживает механизм сигналов и слотов для получения уведомлений об изменении настроек своих дочерних элементов и информирования родительских элементов пользовательского интерфейса об изменении своего состояния для преобразования прочих ассоциированных с ним элементов пользовательского интерфейса. Предложенный механизм взаимодействия в сочетании с методами получения данных и анализа состояния элемента пользовательского интерфейса позволяет осуществить в родительском классе итерацию по нескольким генераторам, при которой на каждой итерации осуществляется последовательный обход всех генераторов и получение значения каждого из них в соответствии с предложенным алгоритмом обхода и состоянием генератора.

**Выводы.** Предложенная иерархия классов обеспечивает возможность синтеза структур пользовательского интерфейса, обеспечивающих генерацию серии значений параметра. Полученный генератор обеспечивает ряд функциональных возможностей:

- поддержку обобщенных методов настройки атрибутов для автоматической и полуавтоматической настройки;
- обобщенный алгоритм последовательного прохождения итераций по нескольким элементам управления с учетом возможного задания элементу константного параметра, заметно упрощающий код родительского класса.

Реализация подобной архитектуры обеспечивает эффективное решение поставленной задачи в рамках предметной области проектирования интерфейсов пользователя для систем тестирования алгоритмов, построения математических моделей и поиска в пространстве состояний. Дополнительным преимуществом предложенного архитектурного решения стала возможность интеграции в масштабируемую систему распознавания, поддерживающую разнородные данные для обеспечения динамического пользовательского интерфейса формирования профилей обработки при настройке системы, отвечающего требованию минимизации сложности реконфигурации подобной системы [5].

#### Список литературы

1. Кревецкий А.В. Инвариантные к форме обнаружение и пространственная локализация групп точечных объектов в трехмерном пространстве // Вестник МарГТУ. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. № 1. С. 47-53.
2. Архитектура системы комплексного дешифрирования изображений аэрокосмических изображений подстилающей поверхности земли в реальном масштабе времени / С. Е. Чесноков, А. В. Кревецкий, Д. В. Уржумов, Ю. А. Ипатов // Вестник ПГТУ. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012. № 1. С. 47-59.
3. Приемы объектно-ориентированного проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Д. Влиссидес. Санкт-Петербург: Питер, 2010. 367 с.
4. Александреску. А. Современное проектирование на C++. Москва: Вильямс, 2002. 336 с.
5. Уржумов Д.В. Особенности проектирования масштабируемых кроссплатформенных программных систем распознавания изображений с разнородными структурами данных на различных этапах обработки // Вестник ПГТУ. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. № 3. С. 61-71.

**DESIGNING SOFTWARE ARCHITECTURE GIVING USER INTERFACES FOR GENERATING  
SERIES OF PARAMETERS OF DYNAMICALLY DEFINED TYPE**

*Urzhumov Daniil Vladimirovich*

Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola

*Technical aspects of program generators for the value sequences of multidimensional parametric spaces are explored. The analysis of the program architecture construction to synthesize convenient user interface for value sequences generation is performed. Architectural solutions to implement considered objectives of settings interface unification and iteration algorithm on a number of generators perform is revealed. The program architecture for user interface elements synthesis by the imposed requirements is designed. In conclusion, the probability of integration the results to the research of multifactor auto configured systems is defined.*

**Keywords:** *Program architecture, user interface, dataset generation, dynamic typification, auto configured systems.*

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 621.865.8

## ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДА ЙОШКАР-ОЛЫ

*Андреанов Юрий Семенович, Захаров Юрий Владимирович,  
Котлов Виталий Геннадьевич, Лаврентьев Борис Федорович,  
Сафиуллина Яна Михайловна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
kskio@volgatech.net

*Приведены основные требования к современному городу, отмечены особенности города Йошкар-Олы и сформулированы предложения по строительству новых объектов, которые помогут жителям города жить в мире, согласии в соответствии со своими национальными традициями, работать, учиться и отдыхать в национальных парках, развлекательных центрах и на природе.*

**Ключевые слова:** *город, архитектура, жители, строительство, работа, отдых, развлекательные и культурные центры, национальные парки.*

**Введение.** Современный город – это очень большое достижение человечества. В таком городе широкие улицы, чтобы множество машин могло свободно проезжать по ним, и ровные тротуары, по которым не жалко ходить в самой красивой обуви. В нем должно быть большое количество различных парков, скверов, развлекательных и культурных центров, зоопарков, ботанических садов, цветомузыкальных фонтанов, памятников и скульптур.

Жители обычно работают в различных районах города, и вечером большинство из них возвращается в уютные квартиры многоэтажек, расположенных в спальных районах, где есть все для комфортной жизни: электричество, газ, горячая вода, мусоропровод, канализация и центральное отопление. Не менее важно в современном городе иметь прекрасные дороги и развитый общественный транспорт. *А главное* – современный город должен иметь свое лицо, *свою национальную культуру и обычаи*, свои культурные, учебные и развлекательные центры, свои неповторимые архитектурные объекты, чтобы в нем людям было нормально жить, работать, учиться, отдыхать, создавать семью. Очень сложно создать современный город, который бы устраивал всех жителей, так как отсутствует общий критерий значимости города.

Облик современного города должен создаваться сообща всеми жителями города с учетом интересов всех и каждого. Поэтому все вопросы градостроения должны ре-

шаться сообща с учетом особенностей национальной культуры. По нашему мнению, неправильно, когда один человек, даже будучи, по его мнению, гениальным архитектором, решает вопросы градостроения единолично и допускает ошибки, которые исправлять практически невозможно. Например, попробуйте перенести новый театр в городе Йошкар-Оле на предназначенную для него ранее театральную площадь в районе Сомбатхея, где можно было бы создать культурную зону, включающую сквер с клумбами и скамейками, цветомузыкальные фонтаны, автостоянки и многое другое [1-5].

**Современное состояние города весьма противоречиво.** В последние годы выполняется большое количество проектов по благоустройству города. Многие проекты хорошие. Они делают город более привлекательным. Но есть проекты, которые не вписываются в национальную структуру города и портят общее представление о ней.

Известно, что наш город всегда отличался зеленью, удобством расположения, чистотой. *Это был Ленинград в миниатюре.* В городе были жемчужины, любимые всеми горожанами. Это прежде всего Ленинский садик, скверик у кинотеатра «Рекорд» с фонтанчиком в виде слоника, «березка» с пляжем и чистейшим песком, где проводили свой отпуск тысячи жителей города. Кому все это мешало?

Вместо зеленого сквера возникло сооружение, отдаленно напоминающее Новгородский кремль, но последний размещен на высоком холме и лучше смотрится. Наш кремль располагается в низине и не внушает уважения. В городе никогда не было каменного кремля, и это еще один исторический обман. Однако, самое главное, кремлевская стена закрыла обзор на красивый храм и на заречный район. Ленинский садик был любимым местом отдыха горожан и детворы.

Конечно, для города нужен свой кремль, но его можно было бы построить в виде сказочного замка на противоположном берегу реки Кокшаги в районе намытого полуострова. В замке можно было бы разместить музей под открытым небом с национальной экспозицией, а напротив замка установить лучший в стране плавающий динамический цветомузыкальный фонтан (ДЦМФ) с ионизацией воздуха (*морским климатом*). ДЦМФ представляют собой прекрасное произведение искусства, объединяющее собой сценарий, звук, освещенность, цвет и высоту струй. Все это должно привлекать внимание людей, способствовать их нравственному, художественному развитию, снимать психологическое напряжение людей, повышать настроение и здоровье жителей города и его гостей. Весь этот комплекс был бы излюбленным местом отдыха горожан и проведения многочисленных праздничных мероприятий.

**На месте второй жемчужины** города выросло огромное здание театра. Эта громадина подавляет своей формой и размерами. Она не вписывается, по мнению многих, в архитектуру нашего города. На его фоне потерялась прелесть архитектуры музыкального училища. Но главное, театр выходит своим фасадом на проезжую часть улицы. А где же театральная площадь? Где встречаются зрители перед спектаклем? Был прекрасный сквер с фонтанчиком в виде слоника, и его можно было бы оставить как памятник прошлому города, а что касается театра, то его можно было бы разместить в Сомбатхее, где много места, где можно было бы устроить сквер со скамейками, клумбы с цветами и площадку для транспорта.

Несколько слов о набережной. Раньше это была «березка», красивое зеленое место с городским пляжем и белым песком – излюбленное место отдыха горожан. Тысячи жителей города ежедневно загорали, купались, набирались здоровья. Река в этом месте имела много родников, была чистой, а в воде можно было увидеть белые лилии и желтые кувшинки. На берегу была лодочная станция, где можно было взять напрокат лодочку для прогулки в дубовую рощу. Сейчас здесь каменная набережная, на сооружение которой затрачены сотни миллионов рублей, и «Архангельская башня» – самый дорогой и неудобный музей в городе.

Каждый современный город должен иметь свое лицо и соответствовать своим национальным особенностям. Сейчас у нас наряду с национальными строят византийские площади, датские и голландские деревни, итальянские постройки. Но увлекаться этим не надо. Город должен иметь национальную окраску и особенности, присущие только ему. Приятнее видеть на набережной реки нашего дорогого поэта А.С. Пушкина, чем бронзового Рембрандта на гранитном постаменте или князя Монако Ренье III и его супругу.

Несколько слов о спортивных сооружениях города, где, по словам городских руководителей, заботятся о спорте и отдыхе жителей города. А почему в городе ведется точечная застройка и уничтожаются спортивные площадки, вырубаются зеленые насаждения? Стадион «Дружба» был любимым местом для многих жителей заводского района. Утром сюда всегда приходили горожане делать гимнастику, бегать по стадиону. Приходили сюда и школьники, и спортсмены, и все это бесплатно для здоровья. Сейчас стадион модернизировали и попасть туда достаточно сложно.

**Целью настоящей статьи** является формулирование предложений по модернизации города с целью превращения его в один из самых привлекательных городов Поволжья. С этой целью в Поволжском государственном технологическом университете разработан эскизный проект Музея детства города Йошкар-Олы, который за 125 млн рублей построен на набережной Брюгге. Музей детства должен стать «сказочным» центром для детей и взрослых, любимым местом их пребывания. Он должен вобрать в себя все прекрасное, что создано в нашем мире, быть центром туризма в нашей республике, формировать добрую эмоционально-психологическую атмосферу. Музей детства должен объединить в себе советские дома пионеров, многочисленные кружки детского творчества, мастер-классы, которые в недалеком прошлом существовали в каждой школе и в каждом учебном заведении.

Как известно, одним из лучших украшений для городских площадей, бульваров и парков являются фонтаны. Они позволяют по-новому взглянуть на обустройство зон отдыха горожан. Городские фонтаны и фонтанные комплексы могут значительно оживить облик современного города. Создавая вокруг себя прохладу и комфортный микроклимат, они позволят жителям не покидать городские улицы в полуденный зной.

Среди всего многообразия уличных фонтанов особое место занимают динамические цветомузыкальные фонтаны. Основная их черта – программное управление высотой и подсветкой струй в зависимости от звучащей музыки, позволяющие проводить целые цветомузыкальные представления с использованием практически любой музы-

кальной композиции. Подсветка струй таких фонтанов может осуществляться как обычными подводными светильниками, так и с применением оборудования, выполненного на основе светодиодов. С наступлением сумерек фонтанный комплекс играет переливами огней; из аудиоколонок, расположенных рядом с фонтаном, звучит музыка. Музыкальную композицию можно выбирать произвольно. При этом именно мелодия будет задавать игру цвета, высоту и интенсивность водяных струй. Связать воедино музыку, цвет и воду поможет специальная компьютерная программа. В настоящее время в городе нет ни одного динамического цветомузыкального фонтана. Предлагается на реке в районе Патриаршей площади создать плавающий ДЦМФ, который будет главным украшением города в праздничные дни, а в центре города на площади Ленина установить динамический цветомузыкальный фонтан перед зданием театра. Фонтан будет работать по программе, а в праздничные дни аккомпанировать выступлениям артистов, что создаст незабываемое впечатление жителям и гостям города.



**Рис. 1. Новый сквер на центральной площади**

Город несомненно выиграл бы, если бы убрали трибуну и ограду, окружающую правительственные здания на Ленинском проспекте. Появился бы новый сквер с фонтаном, скамейками и дорожками, по которым бабушки на колясках возили бы своих внучат. На противоположной стороне площади на здании галереи необходимо снять синюю пленку, а Ослика заменить на Оленя из сказки Бажова, который отбивает бой часов своим копытцем с невероятными световыми эффектами. На месте разрушенной гостиницы «Йошкар-Ола» следует разбить второй скверик, в котором разместить развлекательный центр, кафе с робототехническими конструкциями, цветочные клумбы, дорожки со скамейками.

В городе у входов культурных, развлекательных и детских учреждений предлагается разместить динамическую цветомузыкальную рекламу с использованием робототехнических конструкций, которая оживит город, сделает его привлекательным для жителей и многочисленных туристов. Современный город должен попытаться использовать опыт других городов мира, заимствуя все лучшее для своих жителей. В этом отношении в качестве примера можно взять город Сингапур, в котором большое внимание уделяется созданию комфортных условий для местных жителей и многочисленных туристов.

В нашем городе много талантливых строителей, есть строительный техникум, строительный факультет в ПГТУ, проектные институты, многочисленные строительные организации, которые, несомненно, сделают наш город одним из лучших городов Поволжья.

В Поволжском государственном технологическом университете предложен план работ по городу Йошкар-Оле, который можно реализовать в течение 2-3 лет и превратить столицу нашей республики в жемчужину Поволжья [5-10]. Для этого предлагается создать:

- 1) «Сказочный» театр кукол в городе Йошкар-Оле. Ориентировочная стоимость работ 10-30 млн рублей;
- 2) динамический цветомузыкальный фонтан на площади Ленина. Ориентировочная стоимость работ 10-15 млн рублей;
- 3) плавающий динамический цветомузыкальный фонтан на набережной Брюгге. Ориентировочная стоимость работ 70-120 млн рублей;
- 4) робототехнические конструкции «Сказочник» в пяти детских дошкольных садах. Ориентировочная стоимость работ 1,0-1,5 млн рублей;
- 5) робототехнические конструкции «Айболит» в трех детских больницах. Ориентировочная стоимость 0,6-1,1 млн рублей;
- 6) художественную робототехническую композицию «Бременские музыканты» в культурном центре. Ориентировочная стоимость работ 6-10 млн рублей;
- 7) робототехнических экскурсоводов в 3-5 музеях РМЭ. Ориентировочная стоимость 1-3 млн рублей;
- 8) робототехническую фигуру национального героя, например, Акпарса для проведения праздничных мероприятий. Ориентировочная стоимость 2-5 млн рублей;
- 9) динамические робототехнические конструкции в количестве 4-6 экспонатов в развлекательном центре. Ориентировочная стоимость 5-10 млн рублей.

**Выводы.** Проект реконструкции города Йошкар-Олы можно выполнить за 3-4 года при сравнительно небольших затратах, что позволит сделать наш город жемчужиной Поволжья и центром внутреннего и внешнего туризма.

*Работа выполняется при финансовой поддержке по программе «УМНИК» 2020 года. Заявка № У-082354 «Разработка информационных робототехнических конструкций для культурных объектов современного города»*

Список литературы

1. Лаврентьев Б.Ф. Робототехническая объекты для музеев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7. С. 191-193.
2. Лаврентьев Б.Ф. Города, где я бывал // Ресурсы робототехнических конструкций как инструмента воспитания и образования детей и юношества: сборник статей по гранту РГНФ № 15-06-10686. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 5-13.
3. Создание нового класса детских информационных робототехнических конструкций / Б.Ф. Лаврентьев, Л.А. Стешина, Н.В. Белова, Р.И. Горохова, И.А. Кудрявцев // Ресурсы робототехнических конструкций как инструмента воспитания и образования детей и юношества: сборник статей по гранту РГНФ № 15-06-10686. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 37-42.
4. Лаврентьев Б.Ф. Экскурсию ведет робот // Ресурсы робототехнических конструкций как инструмента воспитания и образования детей и юношества: сборник статей по гранту РГНФ № 15-06-10686. Йошкар-Ола: ПГТУ. 2016. С. 46-49.
5. Лаврентьев Б.Ф. Информационная робототехническая конструкция «Попугай» // Ресурсы робототехнических конструкций как инструмента воспитания и образования детей и юношества: сборник статей по гранту РГНФ № 15-06-10686. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 53-55.
6. Лаврентьев Б.Ф. Город, в котором я хотел бы жить // Ресурсы робототехнических конструкций как инструмента воспитания и образования детей и юношества: сборник статей по гранту РГНФ № 15-06-10686. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 30-36.
7. Лаврентьев Б.Ф. Информационные робототехнические объекты в современном городе // Альманах современной науки и образования. 2016. № 8 (108). С. 48-51.
8. Лаврентьев Б.Ф. Робот «Попугай» для культурных и развлекательных центров // Альманах современной науки и образования. 2016. № 7. С. 53-59.
9. Лаврентьев Б.Ф. Театр кукол в современном городе // Альманах современной науки и образования. 2016. № 8 (108). С. 51-54.
10. Лаврентьев Б. Ф. Детские информационные робототехнические конструкции // Кибернетика и программирование. 2015. № 4. С. 78-88.

**RECONSTRUCTION PROJECT OF YOSHKAR-OLA CITY**

*Andrianov Yuri Semenovich, Zakharov Yuri Vladimirovich,  
Kotlov Vitaliy Gennadevich, Lavrentiev Boris Fedorovich, Safiullina Yana Mikhailovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The basic requirements for a modern city are given, the features of the city of Yoshkar-Ola are noted, and proposals for the construction of new facilities are formulated that will help residents of the city live in peace, accord in accordance with their national traditions, work, study and relax in national parks, entertainment centers and in nature.*

**Keywords:** *city, architecture, residents, construction, city, work, leisure, entertainment and cultural centers, national parks.*

УДК 622.691,539.3

## ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДА В СТВОРЕ ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА

*Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна,  
Филиппова Валерия Родионовна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
PozdeevAG@volgatech.net

*Рассмотрены воздействия гидродинамических сил речного потока на трубопровод, расположенный в траншее подводного перехода, на дне и выше его поверхности, влияние скорости течения на лобовое сопротивление трубопровода и подъемную силу, вызываемую потоком. В автоматизированном режиме в зависимости от чисел Рейнольдса и Фруда определены характеристики лобового сопротивления трубопровода, построена функция и вычислены значения коэффициента подъемной силы при воздействии потока при различных геометрических положениях трубы относительно дна. Решение выполнено на основе аппроксимации табличных данных [1].*

**Ключевые слова:** гидродинамические силы, подводный переход трубопровода, лобовое сопротивление, подъемная сила, число Рейнольдса, число Фруда, аппроксимация данных, MathCad.

**Введение.** Эксплуатация магистральных нефтепроводов является одним из наиболее опасных источников нарушения экологического равновесия природной среды. Особую опасность представляют переходы через водные преграды: реки, ручьи и болота [5]. Нарушение гидрологического режима водотоков, связанное с прокладкой в их створах подводных переходов, вызывает появление силовых нагрузок, не учитываемых при проектировании линейных частей трубопроводов [1, 2]. Обеспечение безопасности эксплуатации подводных переходов нефтепроводов и их бесперебойной работы с целью соблюдения экологического равновесия водотоков является актуальной задачей [3].

**Цель работы** состоит в создании автоматизированной модели расчета гидравлических процессов, происходящих в створе подводного перехода, для оценки воздействия речного потока на динамические характеристики трубопровода.

**Решаемые задачи:** 1) автоматизация модели расчета динамических характеристик трубопровода в створе подводного перехода; 2) определение численных значений силы лобового сопротивления и подъемной силы, действующих на нормальный к потоку участок трубопровода подводного перехода, в прикладной среде MathCad.

**Математическое моделирование.** Для расчета статических составляющих силы давления скоростного потока при симметричном обтекании цилиндрического трубопровода составлены алгоритм и расчетная структура в программной среде MathCad [4].

Ускорение свободного падения,  $m/s^2$ ,  $g := 9.81$

Температура воды,  $^{\circ}C$ ,  $t := 14$ .

Плотность воды,  $kg/m^3$ ,  $\rho(t) := 1000 - 0.062 \cdot t - 0.00355 \cdot t^2$   $\rho := \rho(t)$   $\rho = 998.4$ .

Динамическая вязкость, Па·с,  $\mu(t) := 0.59849 \cdot (43.252 + t)^{-1.5423}$ ;  $\mu := \mu(t)$ ;  
 $\mu = 1.164 \times 10^{-3}$ .

Кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с,  $\nu := \frac{\mu}{\rho} \nu = 1.166 \times 10^{-6}$ .

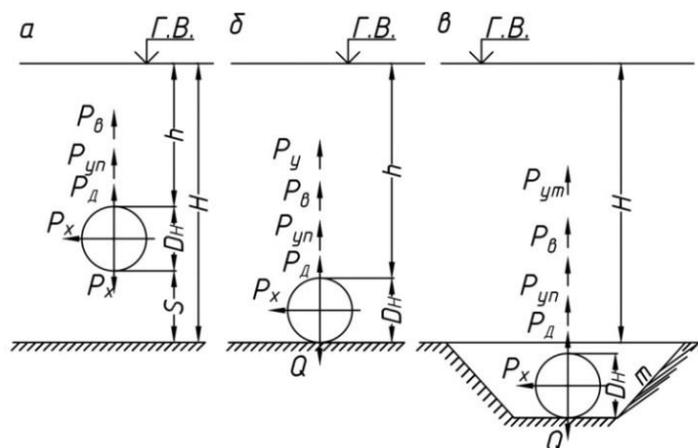


Рис. 1. Составляющие силового воздействия потока на трубу, расположенную: а – выше дна; б – на дне; в – в траншее

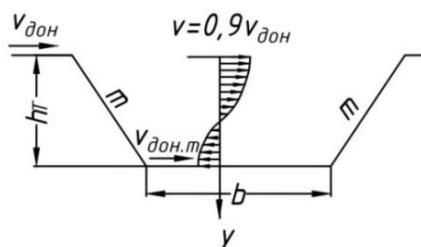


Рис. 2. Распределение скоростей потока в траншее [1]

Глубина траншеи, м,  $h_T := 2$ .

Текущая глубина потока, м,  $y := 0.5$ .

Скорость потока на подходе к траншее, м/с,  $v_{дон} := 0.1$ .

Диапазон изменения скорости потока у дна траншеи,  $v_{отн} := 0,0.1..1$ .

Скорость потока у дна траншеи, м/с,  $v_{донг}(v_{отн}) := v_{дон} \cdot v_{отн}$ .

Скорость потока в траншее на глубине  $y$ , м/с,

$$v(v_{отн}, y) := (0.9 \cdot v_{дон} - v_{донг}(v_{отн})) \cdot \left(1 - \frac{y}{h_T}\right) + v_{донг}(v_{отн}).$$

Расчетная скорость потока, м/с, при заданных значениях,  $y := 0.5$  и  $v_{отн} := 0.4$

$$\nu := v(v_{отн}, y) \nu = 0.078.$$

Наружный диаметр нефтепровода, м,  $D_H := 1.020$ .

Расстояние от дна траншеи до нижней поверхности трубы, м,  $s := 0.2$ .

- Определение коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  в зависимости от числа Рейнольдса  $Re$ .

Табличное значение числа Рейнольдса:

$$\text{Tab } Re_1 := (1 \cdot 10^4 \quad 2 \cdot 10^4 \quad 3 \cdot 10^4 \quad 4 \cdot 10^4 \quad 5 \cdot 10^4 \quad 6 \cdot 10^4 \quad 7 \cdot 10^4)^T;$$

$$\text{Tab } Re_2 := (8 \cdot 10^5 \quad 9 \cdot 10^4 \quad 1 \cdot 10^5 \quad 2 \cdot 10^5 \quad 3 \cdot 10^5 \quad 4 \cdot 10^5 \quad 5 \cdot 10^6)^T;$$

$$\text{Tab } Re_3 := (6 \cdot 10^5 \quad 7 \cdot 10^5 \quad 8 \cdot 10^5 \quad 9 \cdot 10^5 \quad 1 \cdot 10^6 \quad 2 \cdot 10^6 \quad 3 \cdot 10^6)^T;$$

$$\text{Tab } Re_4 := (4 \cdot 10^6 \quad 5 \cdot 10^6 \quad 6 \cdot 10^6 \quad 7 \cdot 10^6 \quad 8 \cdot 10^6 \quad 9 \cdot 10^6 \quad 1 \cdot 10^7)^T;$$

$$\text{Tab } Re := (\text{Tab } Re_1 \quad \text{Tab } Re_2 \quad \text{Tab } Re_3 \quad \text{Tab } Re_4).$$

Табличное значение коэффициента лобового сопротивления  $C_x$ :

$$\text{Tab } C_{x1} := (1.163 \quad 1.16 \quad 1.157 \quad 1.154 \quad 1.151 \quad 1.148 \quad 1.145)^T;$$

$$\text{Tab } C_{x2} := (1.142 \quad 1.139 \quad 1.136 \quad 1.11 \quad 0.83 \quad 0.54 \quad 0.4)^T;$$

$$\text{Tab } C_{x3} := (0.36 \quad 0.36 \quad 0.36 \quad 0.36 \quad 0.36 \quad 0.65 \quad 0.7)^T;$$

$$\text{Tab } C_{x4} := (0.706 \quad 0.709 \quad 0.712 \quad 0.715 \quad 0.718 \quad 0.721 \quad 0.724)^T;$$

$$\text{Tab } C_x := (\text{Tab } C_{x1} \quad \text{Tab } C_{x2} \quad \text{Tab } C_{x3} \quad \text{Tab } C_{x4}).$$

Сплайн-интерполяция зависимости коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  от числа Рейнольдса  $Re$

$$vC_x := \text{pspline}(\text{Tab } Re, \text{Tab } C_x) C_x(Re) := \text{int } \text{erp}(vC_x, \text{Tab } Re, \text{Tab } C_x, Re).$$

$$\text{Число Рейнольдса } Re := \frac{D_n \cdot v}{\nu} Re = 6.78 \times 10^4.$$

Труба с гладкой поверхностью – вариант\_1:=1.

Труба футерованная или бетонированная – вариант\_2:=0.

Коэффициент лобового сопротивления  $C_x$  при найденном числе Рейнольдса  $Re$

$$C_x := \begin{cases} C_x & \text{if вариант\_1} > 0 \\ 1.2 & \text{if вариант\_2} > 0 \wedge Re \leq 10^5 \\ 1. & \text{if вариант\_2} > 0 \wedge 10^5 < Re \leq 10^7 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad C_x = 1.146.$$

Сила лобового сопротивления при расстоянии от дна до трубы при  $s \leq D_n$ , Н/м,

$$P_x := 0.5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot v^2 \cdot D_n \quad P_x = 3.5.$$

- Определение зависимости коэффициента подъемной силы  $C_y$  от относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы  $s_{\text{отн}} := \frac{s}{D_n}$ .

Табличное значение относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы  $s_{\text{отн}} := \frac{s}{D_n}$

$$\text{Tab } s_{\text{отн}} := (0 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0)^T.$$

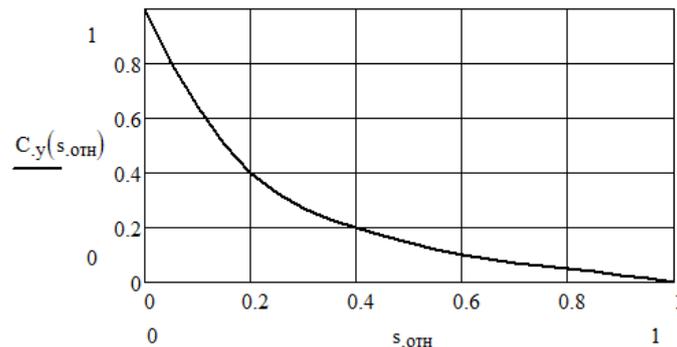
Табличное значение коэффициента подъемной силы  $C_y$

$$\text{Tab}C_y := (1 \ 0.4 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.05 \ 0)^T.$$

Слайн-интерполяция зависимости коэффициента подъемной силы  $C_y$  от относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы  $s_{\text{отн}} := \frac{s}{D_H}$ :

$$vC_y := \text{pspline}(\text{Tab}s_{\text{отн}}, \text{Tab}C_y) C_y(s_{\text{отн}}) := \text{int erp}(vC_y, \text{Tab}s_{\text{отн}}, \text{Tab}C_y, s_{\text{отн}}),$$

$$s_{\text{отн}} := 0,0.05..1.$$



**Рис. 3. График зависимости коэффициента подъемной силы  $C_y$  от относительного расстояния дна траншеи до нижней поверхности трубы  $s_{\text{отн}}=s/D_H$**

Относительное расстояние от дна траншеи до нижней поверхности трубы

$$s_{\text{отн}} := \frac{s}{D_H} s_{\text{отн}} = 0.196.$$

Зависимость коэффициента подъемной силы  $C_y$  от расстояния между дном траншеи и нижней поверхностью трубы

Коэффициент подъемной силы  $C_y$  при вычисленном числе Рейнольдса  $Re$

$$C_y := \begin{cases} C_y & \text{if } 0 < s_{\text{отн}} \leq 1 \\ 0.6 & \text{if } s_{\text{отн}} = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad C_y := 0.407.$$

$$\text{Подъемная сила при } s < D_H, \text{ Н/м, } P_y := 0.5 \cdot C_y \cdot \rho \cdot v^2 \cdot D_H P_y = 1.245.$$

• Определение зависимости коэффициента  $k_1$  от относительного расстояния от свободной поверхности трубы  $h_{\text{отн}} := \frac{h}{D_H}$

Табличное значение зависимости коэффициента  $k_1$  от относительного расстояния от свободной поверхности трубы  $h_{\text{отн}} := \frac{h}{D_H}$

$$\text{Tab}h_{\text{отн}} := (1.00 \ 1.05 \ 1.10 \ 1.15 \ 1.20 \ 1.25 \ 1.30 \ 1.35)^T.$$

Табличное значение коэффициента  $k_1$

$$\text{Tab}k_1 := (4 \quad 2 \quad 1.32 \quad 1.0 \quad 0.8 \quad 0.7 \quad 0.6 \quad 0.55)^T.$$

Сплайн-интерполяция зависимости коэффициента  $k_1$  от относительного расстояния от свободной поверхности трубы  $h_{\text{отн}} := \frac{h}{D_n}$

$$vk_1 := \text{pspline}(\text{Tab}h_{\text{отн}}, \text{Tab}k_1) \quad k_1(h_{\text{отн}}) := \text{int erp}(vk_1, \text{Tab}h_{\text{отн}}, \text{Tab}k_1, h_{\text{отн}}).$$

Глубина воды  $h$ , м,  $h := 3$ .

Относительное расстояние от свободной поверхности воды до верхней поверхности трубы

$$h_{\text{отн}} := \frac{h}{D_n} \quad h_{\text{отн}} = 2.941.$$

Коэффициент  $k_1$  от относительного расстояния от свободной поверхности воды до верхней поверхности трубы

$$k_1(h_{\text{отн}}) = 35.619 \quad k_1 := k_1(h_{\text{отн}}).$$

- Определение зависимости коэффициента  $k_2$  от числа Фруда  $Fr$

Табличное значение числа Фруда  $Fr$

$$\text{Tab}Fr := (0 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0)^T.$$

Табличное значение коэффициента  $k_2$

$$\text{Tab}k_2 := (1 \quad 1.025 \quad 1.05 \quad 1.073 \quad 1.1 \quad 1.13)^T.$$

Сплайн-интерполяция зависимости коэффициента  $k_2$  от числа Фруда  $Fr$

$$vk_2 := \text{pspline}(\text{Tab}Fr, \text{Tab}k_2) \quad k_2(Fr) := \text{int erp}(vk_2, \text{Tab}Fr, \text{Tab}k_2, Fr).$$

Число Фруда  $Fr := \frac{v^2}{g \cdot h} \quad Fr = 2.04 \cdot 10^{-4}$ .

Коэффициент  $k_2$  в функции от числа Фруда  $Fr$

$$k_2(Fr) = 1 \quad k_2 = k_2(Fr).$$

Коэффициент лобового сопротивления при расположении трубы вблизи поверхности воды  $C'_x := k_1 \cdot k_2 \cdot C_x$ .

Сила лобового сопротивления при расположении трубы вблизи поверхности воды, Н/м,  $P'_x := 0.5 \cdot C'_x \cdot \rho \cdot v^2 \cdot D_n$ .

**Интерпретация результатов.** В результате сплайн-аппроксимации [5] данных о связи между лобовым сопротивлением нормального к потоку участка трубопровода и числом Рейнольдса [1] построен график изменения коэффициента лобового сопротивления в зависимости от числа Рейнольдса в логарифмическом масштабе. Зависимость коэффициента подъемной силы и относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы имеет падающий гиперболический характер. Аналогичный характер носит и зависимость коэффициента  $k_1$  от относительного расстояния дна тран-

шей до нижней поверхности трубы  $s_{отн} = s/D_H$ . График зависимости коэффициента  $k_2$  от числа Фруда  $k_2 (Fr)$ , напротив, имеет линейно возрастающий характер. Эти коэффициенты позволяют учесть дополнительные факторы, которые не включены в основную зависимость для расчета силы лобового сопротивления участка трубопровода.

Для схем различного размещения трубопровода относительно свободной поверхности дна и траншеи выполнены расчеты сил, действующих на обнаженный участок трубопровода.

#### **Выводы**

1. При симметричном обтекании определено статическое воздействие потока на цилиндрический участок трубопровода по классическим зависимостям.

2. На основе решения в среде MathCad установлены параметры расчетной скорости потока в траншее, определены величины коэффициента лобового сопротивления в функции от числа Рейнольдса на основе сплайн-интерполяции. В результате вычислены значения подъемной силы и силы лобового сопротивления в зависимости от расстояния между нижней частью трубы и дном водотока.

#### *Список литературы*

1. Бородавкин П.П., Ким Б.И. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. Москва: Недра, 1981. 345 с.
2. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 312 с.
3. Кузнецова Ю.А., Парфенов А.В. Разработка средств защиты подводных переходов нефтепроводов от размыва // Исследования. Технологии. Инновации: сб. статей. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. С. 299-301.
4. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс. Санкт-Петербург: Питер, 2003. 448 с.
5. Анализ последствий разрушения подводных переходов нефтепроводов и их влияния на экологическое состояние водотоков / А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова, Ю.В. Лоскутов, А.Е. Трухан // Вестник МарГТУ. Серия: Лес. Экология. Человек. 2011. № 1. С. 59-74.

#### **IT MODEL FOR CALCULATING DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PIPELINE IN UNDERWATER PASSAGE SECTION**

*Pozdeev Anatoly Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolievna, Filippova Valeria Rodionovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The paper considers flow forces influencing the pipeline located in three positions: in the trench of the underwater passage, at the river bottom, and above its surface. The flow velocity influence on the pipeline drag and the lifting force caused by the flow are studied. In the automated mode, depending on the Reynolds and Froude numbers, the characteristics of the pipeline drag are determined, the function is constructed, and the lift coefficient values influenced by the flow in different geometric positions of the pipe relative to the bottom are calculated. The solution is based on the approximation of table data [1].*

**Keywords:** *flow forces, pipeline underwater passage, drag, lifting force, Reynolds number, Froude number, data approximation, MathCad.*

УДК 622.691, 539.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА НА УЧАСТОК ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА*****Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна,  
Филиппова Валерия Родионовна***ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
PozdeevAG@volgatech.net

*Произведены экспериментальные исследования силового воздействия потока на поперечно установленный участок трубы. Рассмотрены случаи положения модели трубы в траншее, на дне и на уровне выше дна. Получены зависимости силы лобового сопротивления от скорости и расположения трубы. Выполнены статистические оценки полученных результатов и построены регрессионные соотношения. В качестве критерия адекватности использован критерий Фишера.*

**Ключевые слова:** эксперимент, скорость потока, лобовое сопротивление, трубопровод, подводный переход, статистические оценки, критерий Фишера.

**Введение.** При обосновании условий гидравлического моделирования процесса воздействия руслового потока на участок нефтепровода [1] и состава параметров получены четыре независимых безразмерных числа: Рейнольдса, Фруда, Эйлера и Струхаля [2, 3]. В результате анализа процесса установлено, что преобладающими являются силы трения, поэтому моделирование выполнено по числу Рейнольдса. Это позволило установить масштабные коэффициенты моделирования для соответствующих экспериментальных параметров.

**Цель работы** – экспериментальное исследование в гидравлическом лотке силового воздействия потока на модель трубопровода подводного перехода в зависимости от средней скорости потока.

**Решаемые задачи:** 1) измерение сил лобового сопротивления в широком диапазоне расходов при расположении трубы в траншее, на дне и выше дна; 2) статистическая обработка с оценкой результатов экспериментов на воспроизводимость по критерию Кохрена и адекватности полученных уравнений регрессии по критерию согласия Фишера.

**Экспериментальное моделирование.** Лабораторные испытания выполнялись в гидравлическом лотке с поперечным сечением 0,3 на 0,5 м. В рабочей части лотка устанавливалась модель устройства. Промер глубин осуществлялся с помощью шпигелмасштаба. Определение величины расхода производилось с помощью мерного водослива. Лобовое сопротивление модельного трубопровода измерялось электронным динамометром. Измерение скоростей в лотке выполнялось микровертушкой ГМЦМ-1м. Для определения силового воздействия потока на трубу в гидравлическом лотке использовалась экспериментальная установка (рис. 1).

Программа эксперимента включала определение силы лобового сопротивления в диапазоне расходов от 5,3 дм<sup>3</sup> до 11,4 дм<sup>3</sup>/с при расположении трубы в траншее, на дне и выше дна, обработку результатов испытаний.



Рис. 1. Экспериментальная установка: вид сбоку и вид сверху

Сила лобового сопротивления трубопровода определялась исходя из показаний электронного динамометра согласно схеме, представленной на рисунке 2. Величина силы вычислялась по зависимости  $P_x = P \cdot \frac{a \cdot \cos \alpha}{(a+b)}$ .

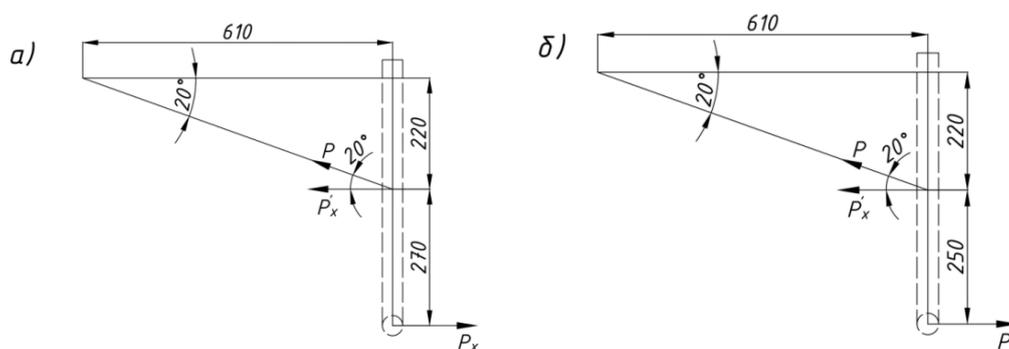


Рис. 2. Схема измерения силы лобового сопротивления  $P_x$ :  
 а – труба в траншее, труба на дне; б – труба выше дна

Процесс регистрации силы лобового сопротивления для случая «труба в траншее» показан на рисунке 3.



Рис. 3. Положение модели в потоке при различных расходах в лотке для случая «труба в траншее»

Проверка статистических характеристик, включая представительность результатов, точность значений, достоверность данных, однородность ряда измерений, изменчивость показателей силы лобового сопротивления, составляла смысл первого этапа эксперимента с числом измерений  $n = 20$ . Величины выборочной дисперсии, среднеквадратичного отклонения, средней ошибки, среднеквадратичного отклонения, относительной погрешности измерений, доверительной вероятности приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Основные статистические оценки результатов предварительного эксперимента**

$x_{max}$	$x_{min}$	$R$	$\bar{x}$	$S_x^2$	$S_x$	$k_e = \frac{S_x}{\bar{x}} 100\%$	$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$	$\Delta = \alpha_{cm} \cdot S_{\bar{x}}$ при 0,95	$\delta = \frac{\Delta}{\bar{x}} 100$	$S_s = \frac{S}{\sqrt{2n}}$
0,503	0,422	0,081	0,448	0,0008	0,028	6,235	0,004	0,009	2,061	0,003

В результате проверки крайних значений ошибки наблюдений были удалены из выборки данных (табл. 2).

Таблица 2

**Отбрасывание грубых результатов наблюдений**

Проверяемый результат		$n$	$\bar{x}$	$\sigma$	Критерии появления грубых ошибок: $\beta_1 = (x_{max} - \bar{x}) / \sigma \sqrt{(n-1)/n}$ ; $\beta_2 = (\bar{x} - x_{min}) / \sigma \sqrt{(n-1)/n}$ ,	$\beta_{max}$ по табл. [4] при $p_0 = 0,95$
$x_{max}$	0,503	20,00	0,448	0,028	2,05	2,09
$x_{min}$	0,422				0,93	

Поскольку  $2,05 < \beta_{max}$ , наибольшая величина равная 0,503 не является грубым значением. Из условия  $0,93 < \beta_{max}$ , наименьшее значение 0,422 также не относится к промахам. Ряд является малой выборкой, поскольку  $n < 30$ . А величина доверительного интервала оценивается по коэффициенту Стьюдента  $\alpha_{ct}$ . Значение доверительной вероятности 0,95 при числе измерений  $n = 20$  позволяет найти табличную величину  $\alpha_{ct} = 2,09$  [4]. Интервал доверительных значений  $\mu_{ct} = \pm 0,004 \cdot 2,09 = \pm 0,008$  дм<sup>3</sup>/с. Величина относительной погрешности данных серии измерений  $\delta = 2,06\%$ .

Наименьшее число измерений при необходимой точности в 5 %

$$N_{min} = (k_e^2 \cdot \alpha_{cm}^2) / 5^2 = (6,235^2 \cdot 2,09^2) / 5^2 = 6,79 \approx 7.$$

После проведения семи серий измерений силы лобового сопротивления в принятом диапазоне изменения расхода при расположении трубы в траншее, на дне и выше дна перед подбором эмпирических формул была проверена воспроизводимость результатов по критерию Кохрена.

Зависимости силы лобового сопротивления от средней скорости, построенные по экспериментальным данным, показаны на рисунке 4.

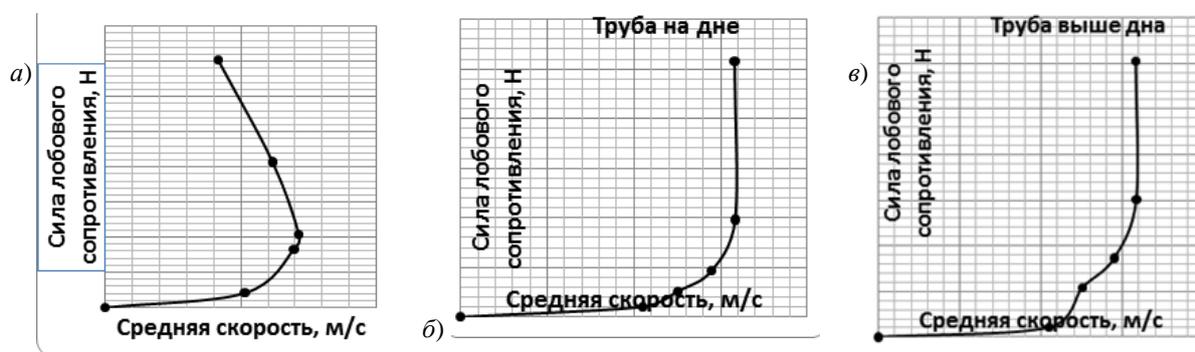


Рис. 4. Эмпирические зависимости силы лобового сопротивления от средней скорости при положении трубы: в траншее (а), на дне (б) и выше дна (в)

Результаты измерений силы лобового сопротивления приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты измерений силы лобового сопротивления при расположении трубы на дне лотка и их обработка

Номер серии опытов	Измерение величины и повторности							$\bar{x}_i$	$D_i$
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1,025	1,031	1,042	1,023	1,034	1,035	1,030	1,031	0,00004
2	0,388	0,380	0,400	0,403	0,395	0,385	0,400	0,393	0,00008
3	0,180	0,191	0,182	0,188	0,186	0,190	0,188	0,186	0,00002
4	0,100	0,110	0,099	0,105	0,104	0,095	0,112	0,104	0,00004
5	0,048	0,040	0,035	0,038	0,045	0,038	0,043	0,041	0,00002

Расчетный критерий Кохрена  $k_{кр} = \max D_i / \sum_i^m D_i = 0,4$ . Число степеней свободы равно  $q = n - 1 = 7 - 1 = 6$ . В пяти сериях проводимых экспериментов при шести степенях свободы критерий Кохрена, по данным таблиц [4], равен  $k_{км} = 0,48$ . Поскольку выполняется условие  $0,4 < 0,48$ , то подтверждается воспроизводимость экспериментов.

На основании выполненных измерений была определена сила лобового сопротивления трубы при различных значениях расхода воды в малом гидравлическом лотке, средней скорости и расположении трубы в траншее, на дне и выше дна (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость силы лобового сопротивления трубы от расхода воды в лотке, скорости и расположения трубы

$P_x$ , Н	$Q \cdot 10^{-3}$ , м <sup>3</sup> /с	$v$ , м/с	Положение трубы
0,352	5,3	0,083	труба в траншее
0,207	6,7	0,123	труба в траншее
0,104	8	0,143	труба в траншее
0,083	9,5	0,139	труба в траншее
0,021	11,4	0,103	труба в траншее

Окончание табл. 4

$P_x, \text{Н}$	$Q \cdot 10^{-3}, \text{м}^3/\text{с}$	$v, \text{м/с}$	Положение трубы
1,031	5,3	0,158	труба на дне
0,393	6,7	0,158	труба на дне
0,186	8	0,145	труба на дне
0,104	9,5	0,125	труба на дне
0,041	11,4	0,105	труба на дне
0,604	5,3	0,158	труба выше дна
0,302	6,7	0,148	труба выше дна
0,173	8	0,145	труба выше дна
0,108	9,5	0,125	труба выше дна
0,022	11,4	0,105	труба выше дна

**Интерпретация результатов.** По экспериментальным данным с помощью программной среды CurveExpert получено уравнение регрессии зависимости  $P_x = f(v)$  в положении «труба на дне»  $y = 1 / (889 - 973 \cdot x^{0,05})$ , при этом коэффициент корреляции составил 0,85, средняя ошибка 0,26 %. Тесноту связи считают удовлетворительной при  $r \geq 0,5$ ; хорошей при  $r = 0,8 \dots 0,85$ .

Для определения адекватности полученного уравнения использован статистический критерий согласия Фишера. Результаты расчета экспериментального значения критерия Фишера  $k_{фэ}$  представлены в таблице 5.

$$\text{Дисперсия адекватности } D_a = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{im} - \bar{y}_{iэ})^2}{n - d} = 0,12 .$$

$$\text{Средняя дисперсия эксперимента } D_{cp} = \frac{1}{m} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{T=1}^m (y_{iэ} - y_{iT})^2}{n} = 0,01 .$$

$$\text{Опытный критерий Фишера } k_{фэ} = D_a / D_{cp} = 17,49 .$$

Таблица 5

**Определение критерия согласия Фишера**

№ опыта	$x_i$	Измеренные значения $y_{iэ}$ в серии						
		$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$
1	0,158	1,025	1,031	1,042	1,023	1,034	1,035	1,030
2	0,158	0,388	0,380	0,400	0,403	0,395	0,385	0,400
3	0,145	0,180	0,191	0,182	0,188	0,186	0,190	0,188
4	0,125	0,100	0,110	0,099	0,105	0,104	0,095	0,112
5	0,105	0,048	0,040	0,035	0,038	0,045	0,038	0,043

№ опыта	$\bar{y}_{iэ} = \sum_{i=1}^m y_{iэ} / m$	$y_{iT}$	$y_{iT} - \bar{y}_{iэ}$	$(y_{iT} - \bar{y}_{iэ})^2$	$\sum_{i=1}^m (y_{iэ} - y_{iT})^2 / m$
1	1,031	0,571	-0,460	0,212	0,212
2	0,393	0,571	0,178	0,032	0,032
3	0,186	0,180	-0,006	0,00004	0,0001
4	0,104	0,083	-0,021	0,0004	0,0005
5	0,041	0,051	0,010	0,0001	0,0001

Теоретическое значение критерия согласия Фишера при степенях свободы  $q_1 = n - d = 5 - 3 = 2$  и  $q_2 = n(m - 1) = 5(7 - 1) = 30$  составляет  $k_{\phi m} = 19$  [4]. Так как  $k_{\phi \varepsilon} = 17,49 < k_{\phi m} = 19$ , то модель адекватна, т.е. полученная математическая модель с доверительной вероятностью 95 % хорошо описывает изучаемый процесс.

Уравнение регрессии зависимости  $P_x = f(v)$  в положении «труба выше дна» имеет вид  $y = 1 / (818 - 896 \cdot x^{0,05})$ , коэффициент корреляции 0,88, а средняя ошибка 0,15 %.

### **Выводы**

В результате анализа процесса силового воздействия потока на модель трубопровода преимущественно установлено влияние на исследуемые процессы числа Рейнольдса.

Для измерения использовались шпигельмасштаб, мерный водослив и гидрометрическая вертушка ГМЦМ-1м. Измерение усилия, действующего на модель участка трубы, выполнено с помощью электронного динамометра.

При регрессионном анализе установлены коэффициенты уравнения функции описания процесса.

Построены зависимости силы лобового сопротивления трубопровода от средней скорости потока.

Проверена воспроизводимость экспериментальных данных и адекватность подобранных уравнений регрессии.

### *Список литературы*

1. Бородавкин П.П., Ким Б.И. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. Москва: Недра, 1981. 345 с.
2. Кузнецова Ю.А. Моделирование струйного размыва донного грунта // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Вып. 2 / отв. и науч. ред. Д. В. Иванов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. С. 306-310.
3. Кузнецова, Ю.А., Парфенов А.В. Разработка средств защиты подводных переходов нефтепроводов от размыва // Исследования. Технологии. Инновации: сб. статей. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. С. 299-301.
4. Родионов П.М. Основы научных исследований: учебное пособие. Ленинград: ЛТА, 1989. 100 с.

## **EXPERIMENTAL STUDY OF DYNAMIC FLOW EFFECT ON UNDERWATER PASSAGE SECTION**

*Pozdeev Anatoly Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolievna, Filippova Valeria Rodionovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Experimental studies of the flow force action on a transversely installed pipeline section are performed. The paper considers three positions of the pipe model: in the trench, at the bottom, and above the bottom. The dependences of the drag force on the flow velocity and the pipe position are obtained. Statistical estimates of the obtained results are performed, and regression relationships are constructed. The Fisher's test is used as an adequacy criterion.*

**Keywords:** *experiment, flow velocity, drag, pipeline, underwater passage, statistical estimates, Fisher's test.*

УДК 693.554.36

## К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СДВИГ В ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ СЖАТИЕ – СДВИГ

<sup>1</sup>Поздеев Виктор Михайлович, <sup>1</sup>Куклин Владимир Андреевич,  
<sup>2</sup>Пекин Дмитрий Анатольевич

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
kskio@volgatech.net

<sup>2</sup>ООО «ИНВ-СТРОЙ»  
inv@inv-stroy.ru

*Описана техника и программа эксперимента для исследования прочности железобетона на сдвиг (срез) при действии в плоскости среза напряжений от сил бокового обжатия. Приведены схемы геометрии экспериментальных образцов, схема испытательного стенда и расположения датчиков деформации. Указаны первоочередные задачи для реализации экспериментального исследования*

**Ключевые слова:** прочность бетона, плоское напряженное состояние, сдвиг, сжатие, экспериментальное исследование

**Введение.** В настоящее время растущий спрос на жилые здания и объекты гражданского строительства требует от организаций-застройщиков применения конструктивных систем, которые позволяют более эффективно использовать материальные ресурсы и сокращать цикл возведения сооружения. Одним из подходов, доказавших свою экономическую целесообразность, является широкое применение сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций высокой степени индустриальной готовности. Наиболее распространены подобные конструкции в панельном и каркасном домостроении. Однако процесс проектирования сооружений данных типов достаточно наукоемок и требует значительных затрат интеллектуальных и вычислительных ресурсов. До сих пор успешность разработки подобных проектов зачастую зависит от наличия документации на предварительно рассчитанные, сконструированные и классифицированные в серии конструкции. Таким образом, в строительной отрасли объективно существует запрос на совершенствование и создание новых научно-методических, технологических и нормативно-юридических инструментов проектирования. Они необходимы для анализа сложного пространственного НДС железобетона в панельных и каркасных конструкциях и реализации индивидуальных (в т.ч. уникальных) архитектурных решений с высокой надежностью, особенно в условиях малых трудовых коллективов. Указанные аспекты наиболее актуальны при конструировании узлов. Экспериментальное исследование поведения бетона в узловых зонах конструкций, которое планируется реализовать в ходе данной работы, призвано внести вклад в разработку новых подходов к проектированию.

**Цель работы** – экспериментально установить зависимость прочности бетона на сдвиг от величины сжимающих напряжений в плоскости сдвига для различных классов бетона по прочности на сжатие.

**Решаемые задачи:** 1) проанализировать существующую нормативную литературу и опубликованные материалы исследований по данной теме;

2) определить вид и геометрические характеристики испытательных образцов;

3) проанализировать имеющуюся материально-техническую базу для проведения испытаний;

4) определить методы аналитического и численного моделирования работы образцов под испытательной нагрузкой;

5) разработать и описать программу проведения испытаний

**Литературный обзор.** Данная тематика достаточно часто поднималась в работах советских ученых и инженеров. К вопросу прочности бетона на сдвиг при действии в плоскости сдвига других силовых факторов неоднократно обращались А.А. Гвоздев [5], В.И. Мурашев [8], О.Я. Берг [4]. Значительный вклад в построение инженерных методик расчета конструкций, подверженных подобному НДС, был сделан А.С. Залесовым [6, 7] и Т.И. Барановой [3].

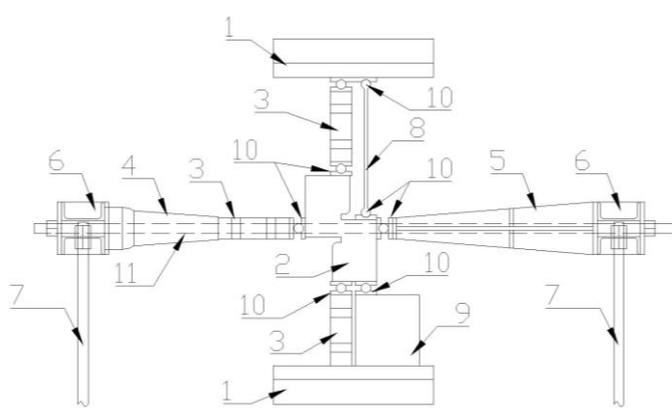
Подобное экспериментальное исследование было предпринято в работе инженера А.Н. Петрова [9]. Данная работа демонстрирует положительное влияние бокового обжатия на сопротивление бетона срезу (сдвигу). Однако в ходе проведения испытаний была выявлена неприменимость образцов с двумя поверхностями среза к получению необходимых экспериментальных данных. К недостаткам эксперимента можно отнести различный возраст образцов, их значительную массу (90 кг) и трудоемкость монтажа в испытательном стенде, сложности в обеспечении центрирования нагрузки. Стоит отметить и негативное влияние достаточно большого шага приращения нагрузки ( $1/6 - 1/7$  от разрушающей) на детализацию массива полученных данных и, как следствие, на анализ зависимости. Также в ходе работы пружины и тяжи, применявшиеся для создания напряжений сжатия, были заменены на домкраты. Этот и другие технические аспекты процесса испытаний будут учтены в дальнейшей работе.

Стоит также отметить работу инженера В.А. Пинскера [10], в которой приведено описание нескольких методик испытания бетона на срез, каждой из которых соответствует уникальный тип экспериментального образца с особой геометрией. Эта статья предоставляет ценные материалы для поиска и сравнительного анализа различных альтернативных подходов к экспериментальному исследованию плоского НДС в бетоне.

В действующей нормативной документации [1] продольные усилия учитываются лишь при расчете элемента по наклонным сечениям на действие изгибающего момента.

**Техника эксперимента.** После изучения собранной информации об опыте испытаний бетона на срез основным типом экспериментальных образцов был выбран S-образный образец, предложенный в схеме А.А. Гвоздева и схеме ЦНИПС, с одной плоскостью среза. Данный тип образца позволяет добиться высокой центровки площадок приложения нагрузки и, как следствие, избежать возникновения в плоскости сдвига нежелательных силовых факторов, что значительно повышает чистоту эксперимента. Также геометрия образца и расположение точек приложения нагрузки снижает вероятность перекоса образца в стенде и изменения НДС бетона в окрестности исследуемой области.

Испытательный стенд представляет собой установку, состоящую из гидравлического пресса типа П-125 для создания усилия сдвига, гидравлического или винтового домкрата для обеспечения сжимающих напряжений на поверхности сдвига, набора металлических траверс и тяжей, электронных динамометров и датчиков деформации (ИЧС, тензорезисторы и т.д.). Общий вид испытательного стенда представлен на рисунке 1.



**Рис. 1.** Схема испытательного стенда: 1 – плита прессы, 2 – экспериментальный образец, 3 – универсальный электронный динамометр, 4 – домкрат, 5 – упор, 6 – траверсы, 7 – опорные стойки, 8 – прижимная полоса, 9 – бетонная подставка, 10 – цилиндрический шарнир, 11 – металлический тяж (пунктиром)

Предельное усилие домкрата и предел измерений динамометров зависит от максимального уровня испытательной нагрузки, которая определяется из характеристик экспериментального образца. Площадь поверхности сдвига в образце составляет  $0,005 \text{ м}^2$ , откуда с учетом прочности бетона наивысшего класса В30  $R_{bn} = 22 \text{ МПа}$  и суммарного коэффициента запаса  $k = 1,6$  определяется наибольшее усилие в ходе эксперимента –  $176 \text{ кН}$ . Таким образом, принимается домкрат с максимальным усилием и динамометры с наибольшим пределом измерений в  $200 \text{ кН}$ .

**Программа эксперимента.** Для получения экспериментальной зависимости предлагается испытание образцов трех наиболее часто используемых классов бетона по прочности на сжатие: В20, В25, В30. Габариты образца принимаются равными  $300 \times 200 \times 100 \text{ мм}$ , объем одного образца составляет  $4040 \text{ см}^3$ , масса –  $8,5 \dots 9,5 \text{ кг}$ . Внешний вид образца с размерами и расположение детекторов деформации показаны на рисунке 2.

В серию по каждому классу бетона входят 10 образцов для испытания по следующему регламенту:

1) испытываются 3 образца с боковым обжатием  $0,01R_b$  или менее для удержания измерительного оборудования, бетон находится в состоянии чистого сдвига;

2) испытываются 3 образца с уровнем бокового обжатия  $0,4R_b$  (промежуточный уровень);

3) испытываются 3 образца с уровнем бокового обжатия  $0,8R_b$  (средний эксплуатационный уровень);

4) при неустойчивости запасного 10-го образца последний испытывается с уровнем бокового обжатия  $1,2 R_b$ .

Перед испытанием каждого образца на него с помощью ц/п или полимерного раствора монтируются передаточные проставки цилиндрических шарниров с заданной центровкой. До набора прочности раствора проставки на образце фиксируются струбцинами с обжатием. Далее образец монтируется в пресс с установкой динамометров, затем на образце фиксируется аппаратура измерения деформаций, завершается установка монтажом бокового оборудования.

В процессе испытания в первую очередь выполняется боковое обжатие образца домкратом до заданного уровня с выдержкой 10 минут и до фиксации показаний датчиков перемещений. Далее выполняется ступенчатое вертикальное нагружение образца с шагом 1 кН также с выдержкой не менее 10 минут и до устойчивых показаний измерительной аппаратуры. Испытание дополнительного образца производится, если разность между итоговыми значениями разрушающей нагрузки для образцов одного класса с одинаковым боковым обжатием составляет более 10 % (от меньшего значения). Если подобное повторяется в серии образцов одного класса, то качество бетона признается недостаточным, вся серия образцов забраковывается, изготавливается и испытывается заново. По полученным данным строятся графики зависимости между сдвигающей нагрузкой и сдвиговой деформацией при постоянных уровнях бокового обжатия для каждого используемого класса бетона. Также будет получена зависимость разрушающей нагрузки при конкретном уровне обжатия от класса бетона. Затем методами математической аппроксимации зависимости описываются в виде формул-функций с заданной точностью.

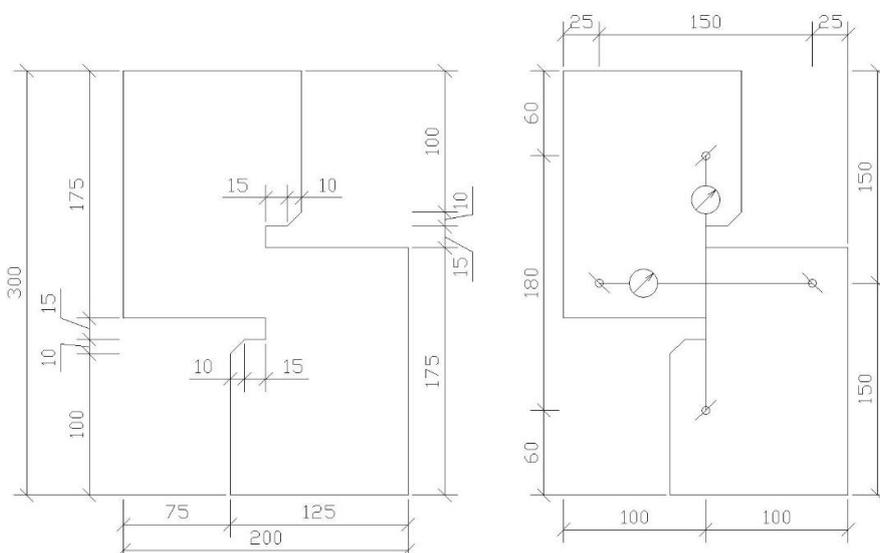


Рис. 2. Геометрические характеристики образца и схема расположения датчиков деформации

**Задачи реализации эксперимента.** Основной задачей для реализации описанной программы является подбор состава и технологической цепочки производства для бетона заданных классов. Особо выделяется проблема крупности используемых заполнителей. При относительно небольшой площади поверхности сдвига существенное влияние будет оказывать количество зерен заполнителя и их пространственное расположе-

ние. Для снижения этого влияния до уровня статистической погрешности планируется использование гравийного щебня фракции не более 2-5 мм. Исходя из этого ограничения, для бетона каждого класса требуется индивидуальный подбор соответствующего состава и водоцементного соотношения.

Другой важной задачей является изготовление многоразовой опалубки для серии образцов (10 шт.) с достаточной точностью геометрии. Требуется изучение технологии изготовления временных опалубок, а также доступных на рынке материалов, с использованием которых возможно обеспечить требования к размерам, удобство возведения в условиях лаборатории и достаточную для проведения эксперимента оборачиваемость.

С целью апробации решений и процедур, используемых в процессе подготовки образцов и их испытаний, в ближайшее время планируется изготовление малой опалубки для 1 образца и проведение полного перечня операций, входящих в программу эксперимента и этап обработки полученных данных.

#### Список литературы

1. Свод правил: СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003: нормативно-технический материал. Москва: [б.и.], 2012. 155 с.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП-52-101-2003) / ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2005. 214 с.
3. Баранова Т.И., Залесов А.С. Инженерные методы расчета железобетонных конструкций. Москва: АСВ, 2003.
4. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. Москва: Госстройиздат, 1962.
5. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкции по методу предельного равновесия. Москва: Стройиздат, 1949.
6. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. Киев: Будивэльнык, 1989. 104 с.
7. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям / А.С. Залесов и др. Москва: Стройиздат, 1988. 320 с
8. Мурашев В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона (основы сопротивления железобетона). Москва: Стройиздат, 1950.
9. Петров А.Н. Экспериментальное исследование бетона при нагружении сжатием и срезом // Бетон и железобетон. 1965. № 11.
10. Пинскер В.А. О прочности ячеистого бетона на срез // Бетон и железобетон. 1975. № 1.

#### THE DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL STUDY METHOD INTO SHEAR STRENGTH FOR CONCRETE IN A PLANE COMPRESSION-SHEAR STRESS CONDITION

<sup>1</sup>Pozdeev Victor Mikhailovich, <sup>1</sup>Kuklin Vladimir Andreevich, <sup>2</sup>Pekin Dmitrii Anatolevich

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

<sup>2</sup>LLC INV-STROY

*It is described the technique and program of experiment for research into into shear strength of concrete subjected to stresses of side compression forces, acting to shear planes. The scheme of sample geometry, the scheme of test bench and the scheme of detectors disposition are shown. Prior objective for implementation of experimental study are underlined as well.*

**Keywords:** concrete strength, plane stress condition, shear, compression, experimental study

УДК 628.89 + 636.5.033

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА В ЗОНЕ ПОСАДКИ ПТЕНЦОВ БРОЙЛЕРОВ

*Хинканин Леонид Александрович, Хинканин Александр Павлович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
HinkaninLA@volgatech.net

*Рассматриваются результаты численного моделирования процессов тепло- и массопереноса в зоне посадки птенцов бройлеров в первый технологический период их выращивания (первая неделя в зимних условиях). Приведено обоснование модели «пористого тела», воссоздающего стадо птенцов при их расположении на полах. Определены факторы, влияющие на величину участков зоны посадки птицы с наилучшими микроклиматическими параметрами.*

**Ключевые слова:** зона посадки птицы, комфортные условия, параметры микроклимата

**Введение.** Рентабельность птицеводства пропорциональна ежесуточному привесу птицы и обратно пропорциональна санитарным потерям. Эти факторы во многом определяются микроклиматом птичника. Отклонение температуры, влажности, скорости движения воздуха, увеличение концентрации CO<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub> от оптимальных значений неизбежно ведет к потерям птицы и снижению экономической эффективности производства. На фоне бурного развития птицеводства в России в течение последнего десятилетия наблюдается явный дефицит в научно-технических данных, позволяющих создавать и поддерживать в птичниках наилучшие микроклиматические условия. Связано это в первую очередь с тем, что большинство птицеводческих хозяйств перешли на импортные кроссы птицы. При этом завозятся яйцо, оборудование и технология, включая технологические карты производственных процессов.

Механический перенос западноевропейских, адаптированных к мягкому зимнему климату процессов в суровый климат России ведет к сверхнормативной выбраковке птицы, снижая прибыльность производства. Эта проблема с позиций зоогигиены достаточно подробно отражена в ряде работ отечественных исследователей [1, 2]. Известны работы, посвященные исследованию микроклимата в птичниках, размещаемых на территории Польши [3, 4]. Отечественные и зарубежные нормы задают численные значения параметров микроклимата [5-9], но не обозначают способов их достижения. Зарубежные исследователи предлагают различные системы поддержания в птичниках наилучших микроклиматических условий.

**Цель работы** – исследование процессов тепло- и массопереноса в зоне посадки птицы; определение факторов, позволяющих создать наилучшие условия для выращивания бройлеров на наибольшей площади птичника.

**Решаемые задачи:** разработать модель пористого тела, описывающего стадо птенцов применительно к объему зоны посадки птицы; провести моделирование фильтрации воздуха сквозь пористое тело; выявить взаимосвязь между объемно-планировочными и микроклиматическими параметрами птичника.

**Техника эксперимента.** В отечественных и зарубежных нормах выделяют три этапа выращивания птицы. Известно, что на первом этапе выращивания в момент посадки птенцов их рост колеблется от 60 до 70 мм. На последней стадии выращивания рост птицы достигает 400 мм. В то же время высота зоны посадки птицы определена в 800 мм от поверхности пола [5]. При этом не делается различие в росте самой птицы. С позиций численного моделирования параметров микроклимата предлагается стадо птенцов представлять в виде «пористого тела», сквозь которое фильтруется воздух птичника. Точность результатов численного моделирования во многом определяется размером конечных элементов при разработке этой модели. С целью обоснованного выбора высоты «пористого тела» была создана модель птенца и воспроизведен процесс обтекания его потоками воздуха (рис. 1). Как следует из проведенного анализа на скоростях движения воздуха, свойственных процессу выращивания птенцов (от 0,01 до 0,02 м/с), процессы возмущения воздушного потока затихают на высотах от 21 до 30 мм над птенцами первой недели содержания и на высотах от 37 до 43 мм над птенцами второй недели содержания.

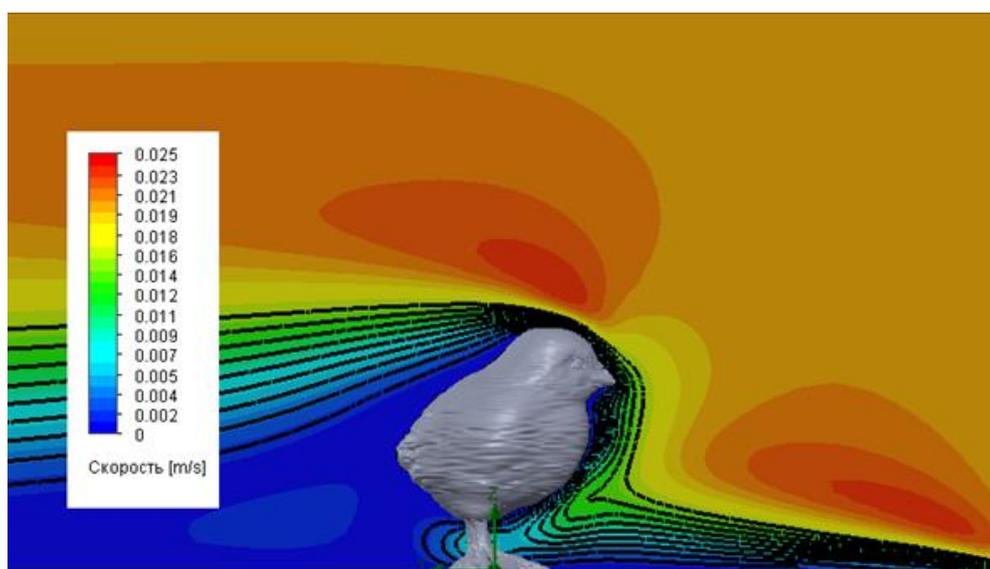
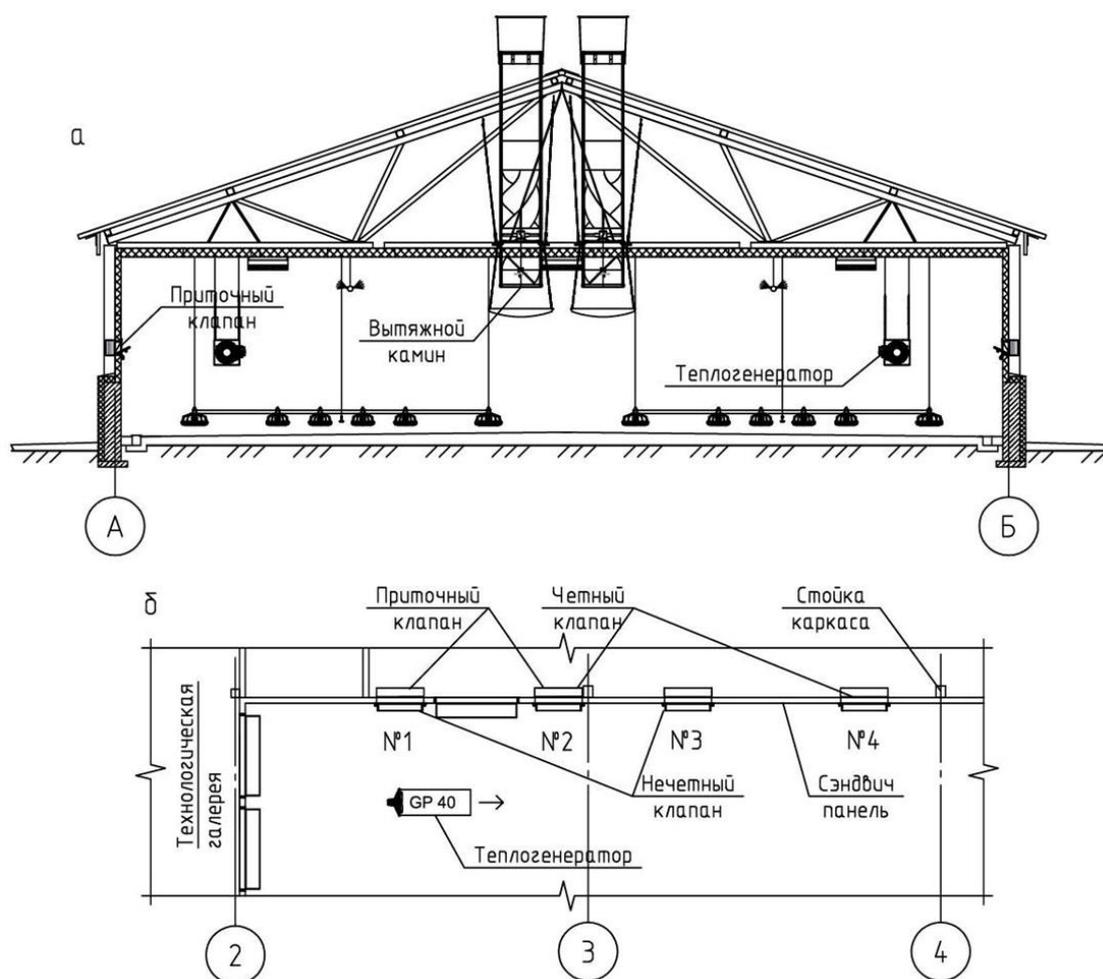


Рис. 1. Обоснование высоты зоны посадки птенцов первых двух недель выращивания

Исходя из полученных данных, предлагается модель стада птенцов описывать «пористым телом», высота которого равна сумме высоты тела птенца, и пространством над ним, где происходит затухание турбулентности воздушного потока. В качестве такого значения для первой недели выращивания птенцов принята высота «пористого тела» равная 80 мм. Для второй недели этот параметр увеличится до 120 мм. В первый технологический период времени (первые две недели) масса птенца возрастает в 3,4 раза. Минимальный объем наружного воздуха, который требуется подавать птице, возрастает в 49 раз, оптимальная скорость движения воздуха равна 0,1 м/с.

В ходе исследования была реализована численная модель птичника с напольным содержанием бройлеров по технологии выращивания Ross Aviagen. В конструктивном отношении это здание с наружным стальным каркасом и ограждающими конструкциями

ми, выполненными из сэндвич-панелей. В трехмерной постановке птичник представляет собой геометрическую модель с сеткой колонн 15,00×6,00 м (площадь размещения птицы 1170 м<sup>2</sup>). Высота птичника в свету составляет 3,00 м. В модели реализованы все характеристики реального здания (рис. 2). Сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приняты следующие: стен – 2 Вт/м<sup>2</sup>×°С, покрытия – 2,5 Вт/м<sup>2</sup>×°С, пола – от 2,1 до 14,2 Вт/м<sup>2</sup>×°С (по зонам). Приток свежего воздуха в здание осуществляется через регулируемые клапаны Pure-let 1200, установленные в наружных продольных стенах с шагом 3,0 м на высоте 1,4 м от пола. Клапаны имеют размеры 740×320 (h) мм и открываются в шахматном порядке.



**Рис. 2. Схема расположения приборов отопления и устройств вентиляции исследованного птичника: а – поперечный разрез птичника; б – фрагмент плана**

Удаление загрязненного воздуха организовано через четыре вытяжных камин CL600 Big Dutchman производительностью 0,5689 м<sup>3</sup>/с, которые подвешены вдоль конька здания в шахматном порядке.

Отопление птичника обеспечено шестью теплогенераторами GP40 с газовыми воздухонагревателями Ectaf, установленными вдоль наружных стен на высоте 1400 мм в шахматном порядке.

На первом этапе исследования были определены характеристики воздушной среды птичника при расположении приточных клапанов на высотах, рекомендуемых Ross Aviagen.

В процессе моделирования изучалось влияние на параметры микроклимата очередности открывания приточных клапанов в плане здания. В первом варианте очередности открывания приточных клапанов наружный воздух поступает через нечетные клапаны (считая от технологической галереи). Во втором случае – через четные клапаны. Как видно из схемы (рис. 1б), в первом варианте поступающий воздух оказывается в зоне повышенного давления перед теплогенератором. Во втором варианте приточный воздух поступает в зону нагретого внутреннего воздуха – в зону пониженного давления. Исследования показали существенное влияние очередности открывания приточных клапанов на распределение температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в зоне посадки птицы.

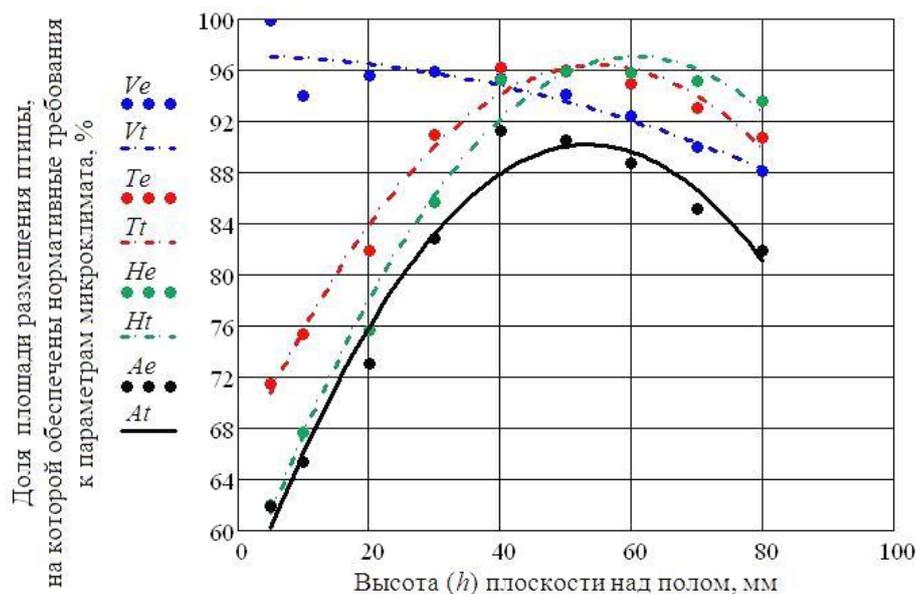
С целью определения влияния высоты размещения приточных клапанов на воздушную среду птичника было рассмотрено пять вариантов их расположения. Приточные клапаны поочередно располагались на высотах от 800 до 3000 мм от уровня пола, включая высоту, рекомендованную Ross Aviagen.

**Выводы.** В ходе моделирования микроклиматических параметров были найдены численные значения тех объемов зоны размещения птицы, в которых обеспечены наилучшие условия, оговоренные нормами. Эти объемы птичника характеризуются тем, что температура воздуха в них колебалась от плюс 28 °С до плюс 32 °С, относительная влажность воздуха находилась в пределах 50-60 %, скорость движения воздуха не превышала 0,2 м/с, а концентрация CO<sub>2</sub> была менее 2000 ppm. Те объемы зоны размещения птицы, в которых какой-либо из перечисленных параметров среды выходил за обозначенные рамки значений, отбрасывались.

В процессе исследования выявлены зависимости, связывающие изменения площади комфортных зон размещения птицы по мере подъема анализируемого сечения над полом. На графике (рис. 3) представлены эти зависимости при первом варианте открывания приточных клапанов. Легко заметить, что параметры микроклимата существенно зависят от высоты расположения приточных клапанов и последовательности их открывания. При этом наилучшие условия достигаются на высотах 50-70 мм над уровнем пола. Найденные зависимости хорошо описываются полиномами (табл. 1).

1. Исследование параметров микроклимата в объеме птичника численными методами позволяет с высокой точностью воспроизводить процессы, протекающие в воздушной среде здания. Появляется возможность оценить численные значения исследуемых параметров в любом объеме здания и на любой поверхности.

2. Установлено, что при различных вариантах открывания приточных клапанов наблюдаются значительные отличия в объемах зоны размещения птицы, в которых соблюдаются все нормируемые параметры микроклимата. Так, при первом варианте открывания в условиях низких температур (минус 33 °С) нормы обеспечены на площади 61,91 %. При втором варианте открывания приточных клапанов площадь с обеспеченными показателями увеличивается до 64,3 %.



**Рис. 3.** Доля зоны посадки птицы, в которой выполняются нормативные требования (%) в случае первого варианта открытия приточных клапанов. Доля площади, на которой обеспечена нормативная скорость движения воздуха ( $V_e$  – данные численного эксперимента;  $V_t$  – аналитическая зависимость). Доля площади, на которой обеспечена нормативная температура воздуха ( $T_e$  – данные численного эксперимента;  $T_t$  – аналитическая зависимость). Доля площади, на которой обеспечена нормативная относительная влажность воздуха ( $H_e$  – данные численного эксперимента;  $H_t$  – аналитическая зависимость). Доля площади, на которой обеспечены все нормируемые параметры (скорость движения воздуха, температура воздуха, относительная влажность воздуха и концентрация  $\text{CO}_2$  ( $A_e$  – данные численного эксперимента;  $A_t$  – аналитическая зависимость))

**Зависимости, описывающие долю зоны размещения птицы, в которой обеспечены нормативные требования к параметрам микроклимата**

Параметры микроклимата	Доля зоны посадки птицы, в которой обеспечены наилучшие условия при первом варианте открытия приточных клапанов
Скорость движения воздуха	$V_t = 97,169 - 0,007979h - 0,001286h^2$ $\text{corr} = 0,901$
Температура воздуха	$T_t = 65,39 + 1,131h - 0,01h^2$ $\text{corr} = 0,991$
Относительная влажность воздуха	$H_t = 54,611 + 1,399h - 0,012h^2$ $\text{corr} = 0,993$
Все параметры	$A_t = 53,685 + 1,369h - 0,013h^2$ $\text{corr} = 0,986$

3. Показано, что малый объем воздухообмена, свойственный для первых 5-7 суток, не позволяет обеспечить достаточное разряжение и подъем струи приточного воздуха. В результате чего вдоль наружных стен наблюдаются неприемлемые условия для пребывания птицы.

4. Получены аналитические зависимости, позволяющие проводить оценку эффективного объема – объема, в котором птица чувствует себя наилучшим образом.

5. Показано распределение температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций. Установлено, что участки стен, где возможна конденсация водяных паров, формируется на верхней грани приточного клапана.

Список литературы

1. Асрутдинова Р.А., Гаврилова К.Ю. Зоогигиеническая оценка условий выращивания цыплят-бройлеров // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2017. Т. 3 (231). С. 8-12.
2. Салеева И.П., Королёва Н.А., Офицеров В.А. Микроклимат, вентиляция и газовый состав воздуха в птицеводческих помещениях (обзор) // Птицеводство. 2016. № 6. С. 44-49.
3. Kic P. Microclimatic conditions in the poultry houses / P. Kic // Agronomy Research. 2016. Vol. 14, № 1. P. 82-90.
4. Zajíček M., Kic P. Simulation of the broiler house ventilation // Scientia agriculturae bohemiae, 44, 2013 (1): 32–37/ URL: <http://library.utia.cas.cz/separaty/2013/VS/zajicek-0392364.pdf>
5. РД-АПК 1.10.05.04-13 Методические рекомендации по технологическому проектированию птицеводческих предприятий. Москва: ФГБНУ Росинформагротех, 2013. 211 с.
6. РД-АПК 3.10.07.02-14 Методическое пособие по ветеринарной экспертизе проектов животноводческих объектов. Москва: ФГБНУ Росинформагротех, 2014. 283 с.
7. Hubbard broiler management guide. URL: [http://www.hubbardbreeders.com/media/hubbard\\_broiler\\_management\\_guide\\_\\_078897700\\_0945\\_07012015.pdf](http://www.hubbardbreeders.com/media/hubbard_broiler_management_guide__078897700_0945_07012015.pdf) (дата обращения 09.06.2019).
8. Cobb broiler management guide. URL: <https://cobb-guides.s3.amazonaws.com/07fc99a0-bbd2-11e6-bd5d-55bb08833e29.pdf> (дата обращения 09.06.2019).
9. Ross Aviagen Hatchery ventilation essentials guide. URL: [http://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/Broiler\\_Breeder\\_Tech\\_Articles/English/AviagenHatcheryVentilationEssentials2014-EN.pdf](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Broiler_Breeder_Tech_Articles/English/AviagenHatcheryVentilationEssentials2014-EN.pdf) (дата обращения 09.06.2019).

**STUDY OF MICROCLIMATE IN THE AREA OF PLANTING OF BROILERS**

*Khinkanin Leonid Aleksandrovich, Khinkanin Alexander Pavlovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The results of numerical simulation of heat and mass transfer processes in the zone of broiler chicks in the first technological period of their rearing (the first week in winter conditions) are considered. The rationale for the “porous body” model of a recreating herd of chicks at their location on the floor is given. The factors affecting the size of the areas of the bird landing zone with the best microclimatic parameters are determined.*

**Keywords:** *bird landing zone, comfortable conditions, microclimate parameters*

УДК 699.885

**НОВАЯ ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ИНСОЛЯЦИИ**

*Хинканин Александр Павлович, Хинканин Леонид Александрович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
HinkaninAP@volgatech.net

*В процессе проектирования населенных мест, жилых и общественных зданий необходимо учитывать санитарно-гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите объектов капитального строительства и территорий. Архитектор обязан учесть комплекс факторов, влияющих на соблюдение требований различных строительных норм. Необходимо обеспечить требуемую продолжительность инсоляции, не допустить перегрева помещений, сократить*

*теплопотери сквозь светопрозрачные конструкции в зимний период. Поиск методики, позволяющей сократить время проектирования и повысить точность получаемых результатов, является актуальной проблемой архитектурного проектирования.*

**Ключевые слова:** методика, время инсоляции, местоположение солнца на небосводе

**Введение.** В процессе проектирования застройки отдельных территорий, микрорайонов, групп жилых и общественных зданий архитекторы обязаны провести предварительный анализ градостроительной ситуации, учесть особенности объемно-планировочного решения проектируемого объекта и окружающих зданий. Этот комплекс работ должен обеспечить соблюдение санитарных норм [1]. Проектировщик должен принять решение на основе анализа особенностей сложившейся застройки, рельефа местности, климатических особенностей района строительства. Все перечисленные факторы влияют как на обеспеченность санитарных норм, так и на эффективность принимаемых решений. Так, в работах [2, 3] приведен анализ влияния объемно-планировочных параметров строящегося объекта на инсоляцию прилегающей территории и застройки. Авторы [4, 5] рассматривают эту проблему с точки зрения энергетической эффективности зданий в летний и зимний периоды соответственно. В статье [6] авторы приводят анализ существующих методик определения времени инсоляции. Они подробно разбирают сильные и слабые стороны этих методик, отмечая одну общую проблему – точность получаемых результатов. До сих пор, решая столь сложную, комплексную задачу, архитектор оперирует бумажными графическими материалами, работая на генеральных планах населенных мест в масштабе 1:500, 1:1000 и 1:2000. При работе с чертежами в таких масштабах неизбежно появляются погрешности. С этих позиций исследования, направленные на повышение производительности проектных работ и точности принимаемых решений, являются весьма актуальными.

**Цель работы** – разработка предложений, направленных на сокращение времени принятия проектных решений и повышение точности в определении времени инсоляции. Предметом исследований методика инсоляционного расчета.

**Решаемые задачи:** 1) математическое описание инсоляции и затенения произвольно ориентированной поверхности окна окружающей застройкой; 2) разработка скрипта расчета продолжительности инсоляции; 3) сравнительный анализ предлагаемой и общепринятой методики.

#### **Математическое моделирование.**

В соответствии с действующими нормами [1] для населенных мест, расположенных на территориях России севернее  $48^\circ$  параллели, инсоляция должна быть обеспечена в период с 22 апреля по 22 августа. Склонение солнца на эти даты составляет соответственно  $12^\circ 00'$  и  $11^\circ 59'$ . При перемещении с юга на север длина дуги, которую описывает солнце по небосводу увеличивается, а максимальное возвышение солнца в полдень над горизонтом снижается (рис. 1). При этом меняется и долгота дня. Так, на 22 число названных месяцев на широте  $48^\circ$  долгота дня составляет 14 ч 02 мин, на широте Йошкар-Олы ( $56,64^\circ$ ) долгота дня увеличивается до 14 ч 47 мин, а в Мурманске ( $68,98^\circ$ ) – до 17 ч.

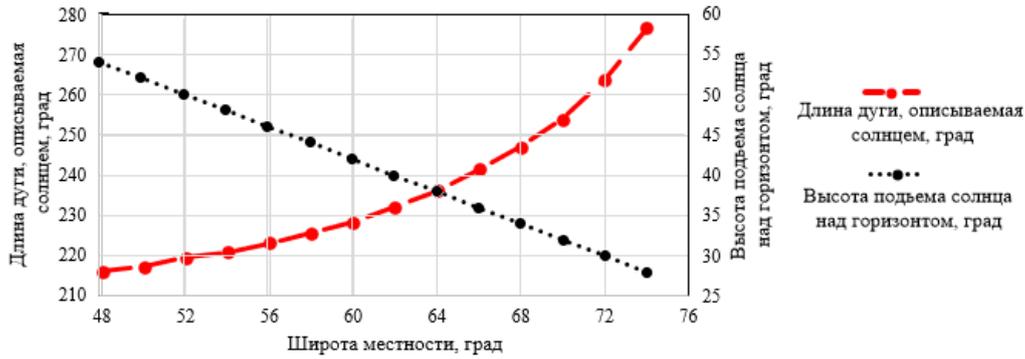


Рис. 1. Зависимости высоты подъема солнца над горизонтом и длины дуги, описываемой им в зависимости от широты местности на 22 апреля и 22 августа

Видимая траектория движения солнца по небосводу непрерывно изменяется в течение года. Существует изрядное количество зависимостей, описывающих местоположение солнца в определенные сутки года. Из их числа нами были выбраны нижеприведенные:

$$h_{oi} = \arcsin[\sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(t)], \quad (1)$$

$$A_{oi} = \text{Atan2}[\cos(\varphi) \cdot \sin(t) - \sin(\delta), \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(t)], \quad (2)$$

$$\delta_o = -\arcsin(0,39779 \cdot \cos(0,98565^\circ \cdot (n + 10) + 1,914^\circ \cdot \sin(0,98565^\circ \cdot (n - 2))), \quad (3)$$

$$\text{Atan2} = \begin{cases} \arctan(y/x) & x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & y \geq 0, x < 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & y < 0, x < 0 \\ +\frac{\pi}{2} & y > 0, x = 0 \\ -\frac{\pi}{2} & y < 0, x = 0 \\ \text{unefined} & y = 0, x = 0 \end{cases}$$

где  $A_{oi}$  – азимут солнца в определенный ( $i$ ) момент времени (день, час, минута), град.;

$h_{oi}$  – возвышение солнца над горизонтом в  $i$  момент времени, град.;

$\delta_o$  – склонение солнца, град.;

$\varphi$  – широта местности, на которой располагается рассматриваемое здание (придомовая территория), град.;

$t$  – часовой угол, отсчет ведется от 0 часов (1 град. = 4 мин. по времени);

$n$  – порядковый номер дня года.

Как отмечается в работе [8], погрешности определяемых параметров по приведенным выражениям не превышают  $0,25^\circ$  (что равнозначно 1 минуте по времени). Тогда для произвольного момента времени суток по приведённым зависимостям (1)-(3) определяется азимут и возвышение солнца. Возможное время инсоляции расчетной точки О

определяется с момента появления солнца над горизонтом ( $h_{oi} > 0$ ) плюс 1 час до момента захода ( $h_{oi} < 0$ ) минус 1 час. Поправки  $\pm 1$  час введены с целью учета малого санирующего эффекта лучистого потока солнечного света при низком стоянии светила над горизонтом.

Таким образом, зная высоту затеняющего объекта и местоположение солнца на небосводе в любой момент времени и учитывая параллельность солнечных лучей, достигающих поверхности земли, становится возможным определение направления и длины тени, создаваемой затеняющим элементом здания. Затеняющий элемент представляет собой вертикальный отрезок  $H_i = H_{з\delta} - H_o$ , величина которого равна разности отметок парапета или карниза затеняющего здания и отметки исследуемой точки O, где  $H_{з\delta}$  – высота затеняющего здания над поверхностью земли,  $H_o$  – высота расположения расчетной точки O над поверхностью земли.

Зная превышение затеняющего здания над расчетной точкой  $H_i$ , возможно определить и длину тени, отбрасываемую каждой  $i$  точкой затеняющего здания по направлению:

$$L_{mi} = H_i / \operatorname{tgh}_{oi}. \quad (4)$$

Легко заметить и то, что любая точка на поверхности земли или фасада затеняемого здания будет инсолироваться при условии ее удаления от затеняющего здания на величину большую, чем  $L_{mi}$  (рис. 2).

В предлагаемой методике движение солнца и тени предлагается описывать в полярных координатах. Расчетная точка O помещается в центр полярных координат. Полярная ось направлена из исследуемой точки (точка O) на север. Полярный угол (азимут солнца) будет изменяться в пределах  $-\pi < A_{oi} \leq \pi$ . Отрезок  $H_i$ , перемещающийся по направляющей (вдоль фасада затеняющего здания) от точки B к точке C, будет отбрасывать тень длиной  $L_{mi}$  в направлении  $A_{oi} + \pi$  (рис. 2).

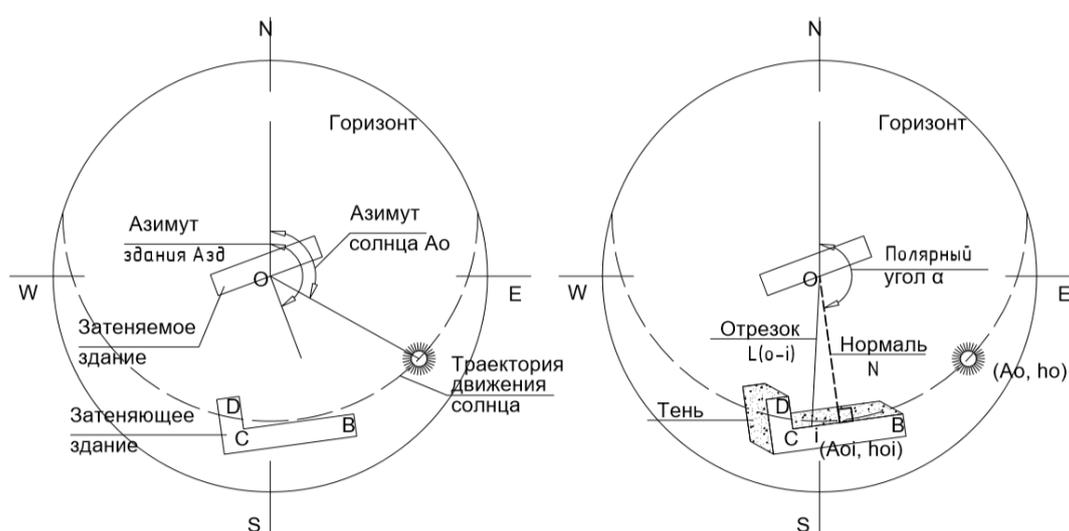


Рис. 2. Схема видимого движения солнца по небосводу и основные геометрические параметры методики определения времени инсоляции точки O

Тогда для произвольного момента времени суток по приведенным зависимостям (1)-(3) определяются азимут и возвышение солнца. Возможное время инсоляции расчетной точки О определяется с момента появления солнца над горизонтом ( $h_o > 0$ ) плюс 1 час до момента захода ( $h_o < 0$ ) минус 1 час. Поправки  $\pm 1$  час введены с целью учета малого санирующего эффекта лучистого потока солнечного света при низком стоянии светила. На следующем этапе предлагаемой методики определяется расстояние (горизонтальная проекция –  $L_{oi}$ ) от точки О до отрезка  $H_i$ . Это расстояние определяется выражением

$$L_{o-i} = N / \cos(A_{oi} - \alpha), \quad (5)$$

где  $N$  – длина нормали, опущенная из точки О на касательную к фасаду затеняющего здания;  $\alpha$  – полярный угол для исследуемой точки О (угол между направлением на север и нормалью к касательной к фасаду затеняющего здания).

На последнем этапе данной методики производят сравнение величин  $L_{mi}$  и  $L_{o-i}$ . В том случае, когда разность отрезков положительна и  $L_{o-i} > L_{mi}$ , расчетная точка О не затеняется вертикальным отрезком  $H_i$ . Время, в течение которого  $L_{o-i} - L_{mi} > 0$ , является временем инсоляции точки О.

**Выводы.** Сравнительный анализ результатов, получаемых с помощью предлагаемой методики, с результатами, получаемыми традиционным графическим способом, позволяет определять продолжительность инсоляции для любого населенного пункта (зная широту, на которой он находится) и для любого дня года. Точность расчетов при этом повышается до десятых долей минуты по времени. В то время как в реальной практике архитектурного проектирования традиционный метод определения продолжительности инсоляции по инсоляционным графикам допускает погрешности до 10 минут.

#### Список литературы

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий.
2. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Экологические аспекты инсоляции и естественного освещения жилых и общественных зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2012. № 2. С. 38-41.
3. Серебрякова М.В. Современные подходы проектирования зданий при учёте требований инсоляции // Современное строительство и архитектура. 2019. № 2(14). С. 9-13.
4. Хинканин Л.А., Хинканин А.П. Энергоэффективность зданий в летний период эксплуатации // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер. Технологическая. Вып. 2 / отв. и научный редактор Д.В. Иванов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. С. 283-287.
5. Золотозубов Д.Г., Карманова О.С. Анализ влияния изменения инсоляции квартир на энергосбережение // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7, № 1. С. 82-92.
6. Земцов В.А., Гагарин В.Г. Инсоляция жилых и общественных зданий. Перспективы развития // Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 147-151.
7. ГОСТ Р 57795-2017. Здания и сооружения. Методы расчета продолжительности инсоляции. Москва: Стандартинформ, 2017. 58 с.

8. Русин И.Н. Влияние на расчет инсоляции погрешностей определения положения солнца // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. № 15. С. 33-43.

#### NEW ESTIMATION OF THE INSOLATION TIME

*Khinkanin Leonid Aleksandrovich, Khinkanin Alexander Pavlovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola  
HinkaninAP@volgatech.net

*In the process of designing populated areas, residential and public buildings, it is necessary to take into account the sanitary and hygienic requirements for insolation and sun protection of capital construction projects and territories. The architect must take into account a set of factors that affect compliance with the requirements of various building codes. It is necessary to ensure the required duration of insolation, prevent overheating of premises, reduce heat loss through translucent structures in winter. The search for a method that allows you to reduce the design time and improve the accuracy of the results is an urgent problem of architectural design.*

**Keywords:** *method, time of insolation, location of the sun in the sky.*

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 626.882.2 + 532.525.2

## ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ РЫБОЗАЩИТНОЕ СООРУЖЕНИЕ

*Введенский Олег Германович, Аптыкеева Ксения Евгеньевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
VvedenskyOG@volgatech.net

*Изложена проблема защиты молоди рыб от попадания в водозабор при покатных миграциях. Предложена новая конструкция гидравлического рыбозащитного сооружения. Представлено математическое обоснование предлагаемого технического решения. Приведены краткие результаты экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** водозабор, молодь рыбы, покатная миграция рыбы, естественное воспроизводство рыбы, природоохранные мероприятия

**Введение.** Гидротехническое строительство, проводимое на внутренних водных путях направлено на решение целого ряда важнейших для человечества задач, без решения которых невозможно дальнейшее устойчивое развитие человеческого общества. Это такие задачи, как проблемы получения энергии, создания больших запасов пресной воды для питьевого и хозяйственного водопотребления, обеспечения водного транспорта полноводными магистралями, получения обширных угодий для развития рекреации и др.

Однако гидротехническое строительство на реках имеет и отрицательные стороны: зарегулирование стока, разрушение экосистем рек, нарушение нерестовых и покатных миграций рыб, размыв и заболачивание берегов водохранилищ, затопление нерестилищ и др. [1, 2].

Из всего комплекса экологических проблем, возникающих вследствие строительства гидротехнических объектов на реках, мы выделим задачу по предотвращению попадания молоди рыб в водозаборные сооружения различного назначения. Решить указанную проблему призваны рыбозащитные устройства и сооружения (РЗУ). Анализируя разнообразие и специфику применения сооружений, направленных на защиту от попадания рыбы и ее молоди на опасные участки акваторий – водозаборы различного

назначения (энергетические, промышленные, водохозяйственные и др.), водоприемники и водосбросы ГЭС, места проведения дноуглубительных и иных подводных работ, прокладки кабелей и добычи полезных ископаемых, можно заключить, что они являются основным и важнейшим компонентом обеспечения безопасности рыб при хозяйственной деятельности человека на рыбообитаемых водных объектах.

РЗУ являются как единственным и самостоятельным элементом рыбозащитного комплекса, так и входят в состав любого другого многокомпонентного рыбоохранного комплекса. Обилие их типов, конструкций и назначений многократно превосходит все остальные разновидности рыбоохранных сооружений, многие из которых могут быть включены и использованы также и для нужд рыбозащиты – технологического процесса, направленного на обеспечение безопасности рыб при строительстве и эксплуатации гидротехнических и иных водных сооружений [3]. Из всего многообразия типов конструкций рыбозащитных устройств, на наш взгляд, самыми перспективными являются устройства гидравлического типа, т.е. устройства, которые в своей работе используют гидравлические струи и возбужденные ими потоки [2].

Основными функциональными элементами РЗУ гидравлического типа являются входной потокоформирующий оголовок, рабочий защитно-водоприемный орган и рыбоотвод. Потокоформирующий оголовок предназначен для создания такой гидравлической структуры поступающего в РЗУ потока воды с молодью рыб, которая организует вывод покатной молоди в транзитную зону водотока, удаленную от рабочего органа, и обеспечивает оптимальные условия для пассивного ската молоди рыб в транзитном течении из зоны действия водозабора. Рабочий орган предназначен для поддержания оптимальных условий ската молоди рыб в транзитном течении и равномерного со скоростями, не превышающими сносящие для защищаемых рыб, отбора воды из транзитного потока в водозабор. Рыбоотвод предназначен для отведения защищенной молоди рыб из зоны действия рабочего органа и водозабора в безопасное место рыбообитаемого водоема.

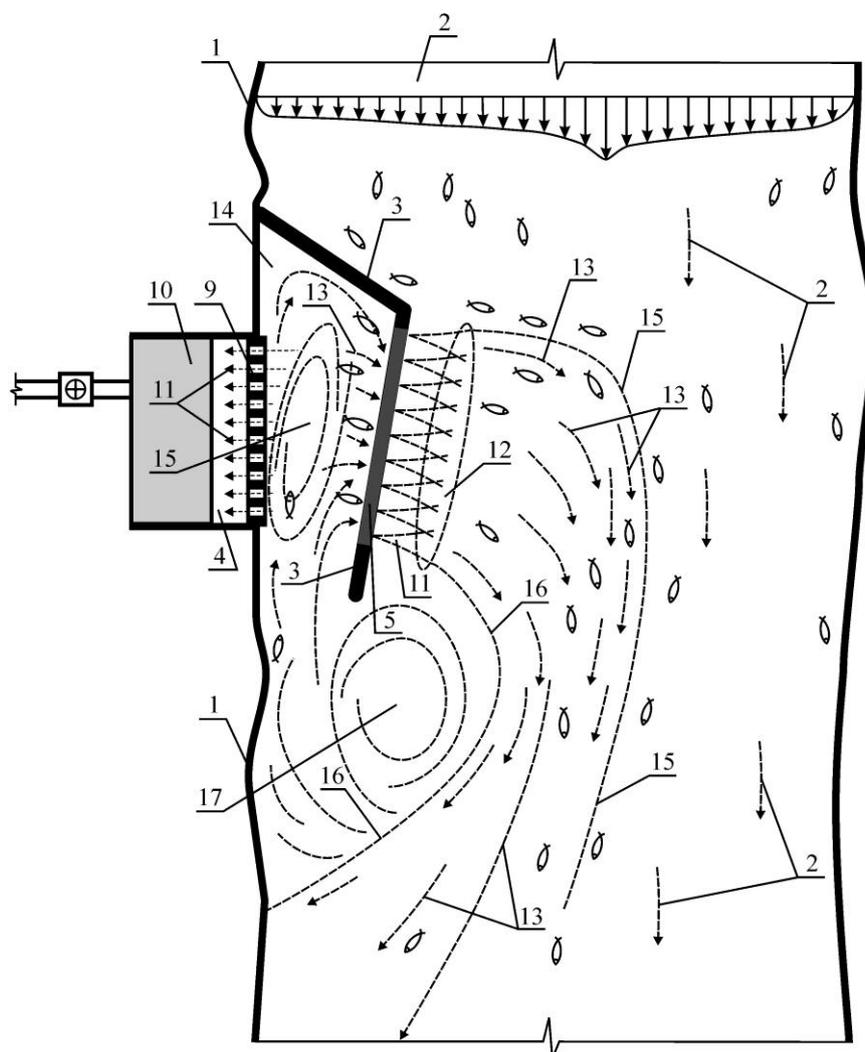
**Цель работы** – обоснование новой конструкции рыбозащитного устройства гидравлического, совмещающего в одно целое рыбоотвод, потокоформирующий оголовок и рабочий защитно-водоприемный орган.

**Решаемая задача** – выявить особенности проектирования рыбозащитных устройств (РЗУ) гидравлического типа по обеспечению защиты рыбы и ее молоди от попадания в водозаборы.

**Объект разработки и математическое моделирование.** В настоящее время используют три основных вида рыбозащитных устройств: ориентирующий, физиологический и гидравлический. Первые два вида РЗУ организуют самостоятельное движение рыб в заданном направлении по определенной траектории или оказывают на рыб привлекающее или, наоборот, отпугивающее действие. Они также могут быть использованы в качестве рыбонаправляющих устройств, предназначенных для направления мигрирующих рыб в оголовки практически всех видов рыбоохранных сооружений. В большинстве случаев РЗУ является основным функциональным входным элементом рыбопропускных, нерестовых и рыбопропускных сооружений. Рыбозащитное соору-

жение гидравлического типа является устройством направляющего действия, так как оно создает в водоеме искусственно организованное транспортирующее рыб течение. В связи с данным обстоятельством в основу разрабатываемой нами конструкции мы положили технологию использования гидравлических струй для совершенствования работы рыбоохранных сооружений [1-5].

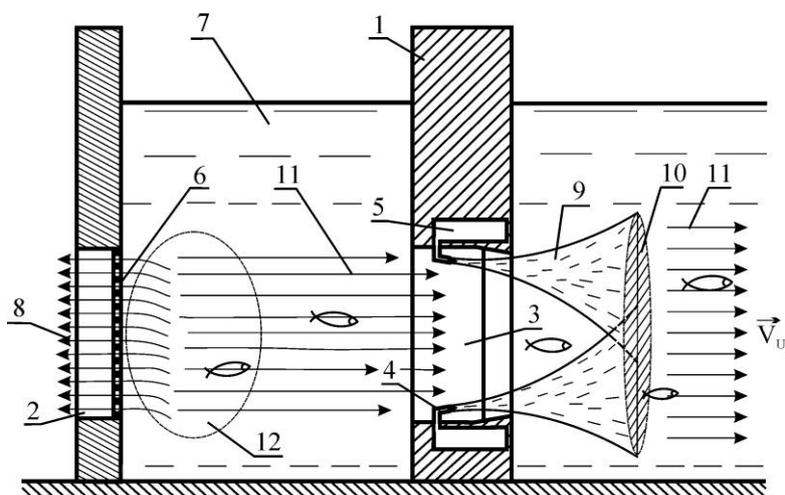
Для защиты взрослой рыбы и ее молоди от попадания в водозаборы мы предлагаем создавать рыбоотводящее течение за счет формирования суммарного потока [6-9] со стороны основного водотока за водонепроницаемой стенкой, которая ограждает водоприемное окно водозабора от основного водотока. Причем суммарный поток следует направлять в сторону основного водотока (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема создания транзитного рыбоотводящего течения на виде в плане: 1 – береговая кромка; 2 – основной водоток; 3 – водонепроницаемая стенка; 4 – водоприемное окно водозабора; 5 – рыбопропускное отверстие; 6 – фильтрующий экран; 7 – насосная станция; 8 – водозаборное течение; 9 – гидравлические струи; 10 – суммарный поток; 11 – рыбоотводящее течение; 12 – область, сформированная между водоприемным окном и внутренней стороной водонепроницаемой стенки; 13 – водоворотное течение; 14 – внешняя граница рыбоотводящего течения; 15 – внутренняя граница рыбоотводящего течения; 16 – зона водоворотов

Рыбоотводящее течение будет выводить из области, сформированной водоприемным окном и внутренней стороной водонепроницаемой стенки, через рыбопропускное отверстие, которое выполнено в водонепроницаемой стенке, рыб и ее молодь вниз по течению основного водотока. Также в результате взаимодействия водозаборного и рыбоотводящего течений в области между водоприемным окном и внутренней стороной водонепроницаемой стенки формируется водоворотное течение. Оно будет способствовать отделению осевшего мусора, водорослей и образований с фильтрующего экрана водоприемного окна. Отделенный мусор, водоросли и образования вместе с попавшим мусором также будут выводиться рыбоотводящим течением вниз по течению основного водотока относительно водоприемного окна.

Технология работы рыбозащитного сооружения гидравлического типа заключается в следующем. В результате работы насосной станции для забора воды потребителю формируется водозаборное течение 11 (рис. 1, 2). Малую часть расхода для нужд потребления отбирают и подают через раздающие коллекторы 8 в систему струеобразующих насадок 6 пропускных отверстий 5, которые формируют за водонепроницаемой стенкой 3 гидравлические струи 11, направленные в сторону основного водотока 2. Взаимодействуя между собой, гидравлические струи 11 формируют со стороны основного водотока 2 за водонепроницаемой стенкой 3 суммарный поток 12, который также направлен в сторону основного водотока 2.



**Рис. 2.** Схема создания транзитного рыбоотводящего течения, разрез вертикальной плоскостью: 1 – водонепроницаемая стенка; 2 – водоприемное окно водозабора; 3 – рыбопропускное отверстие; 4 – струеобразующие насадки; 5 – раздающие коллекторы; 6 – фильтрующий экран; 7 – область, сформированная между водоприемным окном и внутренней стороной водонепроницаемой стенки; 8 – водозаборное течение; 9 – гидравлические струи; 10 – суммарный поток; 11 – рыбоотводящее течение; 12 – водоворотное течение

Начальную скорость рыбоотводящего потока можно определить по выражению [8]:

$$V_{U0} = \varphi_{U0} \frac{V_0 d_0^{\frac{2}{3}} b_3^{\frac{1}{3}} n}{(h_3 - b_3)}, \quad (1)$$

где  $V_{U0}$  – начальная скорость суммарного потока, м/с;  $V_0$  – начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок, м/с;  $d_{0n}$  – диаметр струеобразующих насадок, м;  $b_э$  – расстояние между осями гидравлических струй, м;  $n$  – число струеобразующих насадков в ряду;  $h_э$  – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м;  $\phi_{U0}$  – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем [9, 10].

В свою очередь, дальность распространения  $U$  рыбоотводящего течения, образованного суммарным потоком, можно оценить следующей зависимостью [2, 9]:

$$U = \left( \phi''_U \frac{V_{U0} b_э n}{V_U} \right)^2, \quad (2)$$

где  $U$  – расстояние от водонепроницаемой стенки до рассматриваемого участка транзитного потока;  $V_{U0}$  – начальная скорость суммарного потока;  $V_U$  – минимальная требуемая величина транзитного потока;  $\phi''_U$  – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путем [9, 10].

Как видно из выражений (1) и (2), дальность транзитного водного течения  $U$  зависит в первую очередь от величины начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  и начальных условий истечения гидравлических струй  $V_{0n}$ ,  $n$ ,  $b_э$ ,  $h_э$ ,  $d_{0n}$ , что подтверждается и экспериментально. Минимально требуемую величину рыбоотводящего потока  $V_U$  следует назначать, исходя из рекомендуемых значений (см. таблицу). При этом начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок  $V_0$  не должна превышать 10 м/с [2, 8].

#### Рекомендуемые скорости рыбоотводящего течения для различных видов рыб [2, 8]

Виды рыб	Скорость течения, м/с	
	молодь	взрослые особи
Лососи, форель, кумжа, жерех, щука	0,25...0,35	1,1...1,6
Усач, хариус, миноги	0,20...0,30	1,0...1,5
Сельди, подуст, краснопер	0,20...0,25	0,95...1,4
Белорыбица, осетр, севрюга, судак, язь	0,15...0,2	0,9...1,2
Сазан, лещ, окунь, линь, плотва	0,15...0,25	0,9...1,2

**Краткие результаты экспериментальных исследований.** Возможность применения на практике предлагаемой технологии использования гидравлических струй для защиты молоди рыб от попадания в водозабор была проверена экспериментально на лабораторной модели масштабом  $\lambda_L = 10$ . При проведении лабораторных исследований за основной критерий гидродинамического подобия был принят критерий подобия Фруда.

Лабораторная модель предлагаемой конструкции гидравлического рыбозащитного устройства размещается на русловой площадке лаборатории гидротехнических соору-

жений Поволжского государственного технического университета (рис. 3). Данная модель позволяет имитировать работу водозабора и включает в себя все три основных элемента РЗУ: потокоформирующий оголовок, рабочий орган, рыбоотвод.



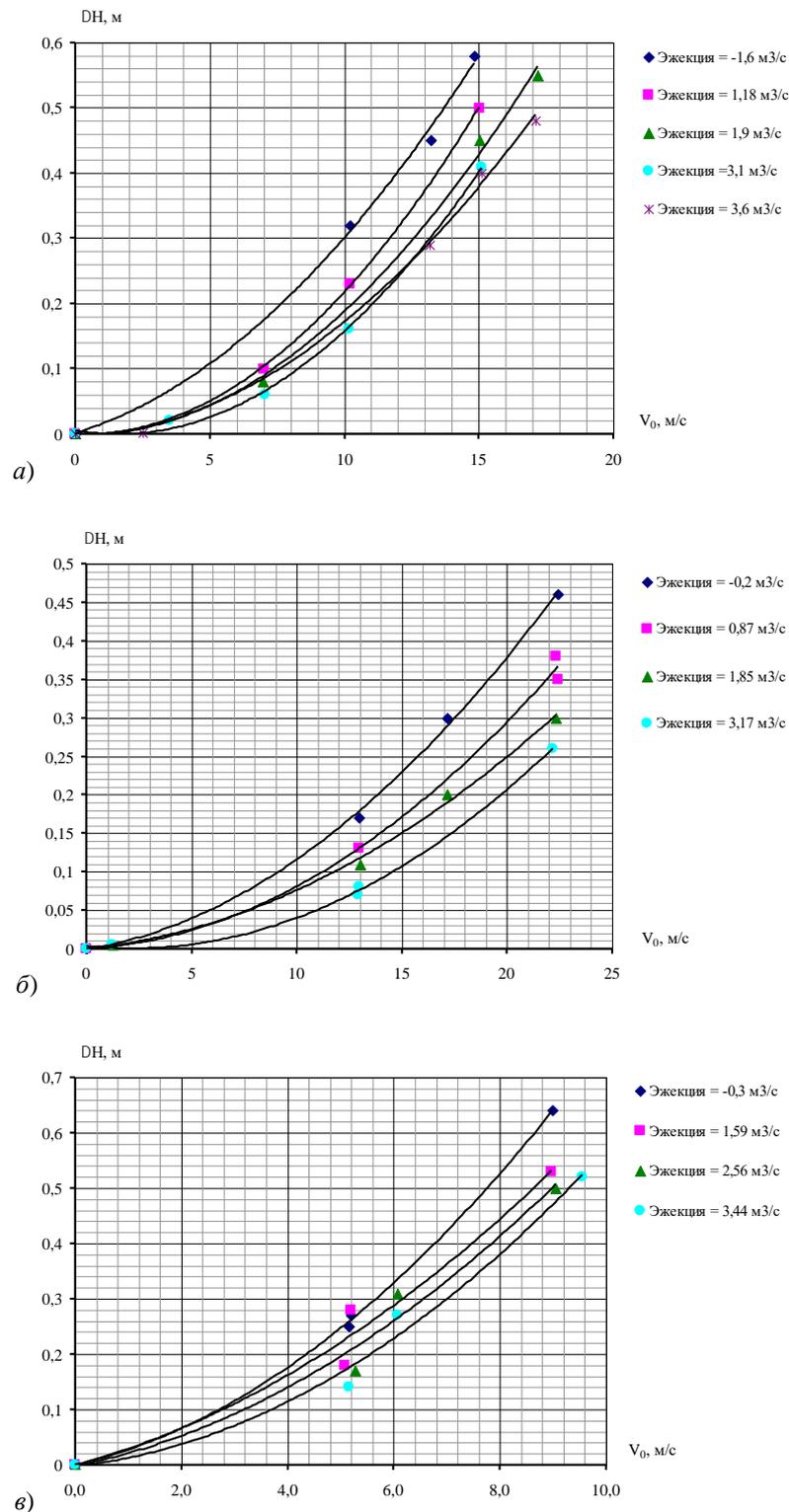
**Рис. 3. Модель гидравлического рыбозащитного устройства:** 1 – головная часть модели; 2 – выходная часть модели; 3 – входной лоток; 4 – гаситель потока; 5 – сетчатое полотно; 6 – наборный щит головной части модели; 7 – задвижка малого водовода; 8 – задвижка большого водовода; 9 – напорный трубопровод системы струеобразующих насадков; 10 – шаровые краны; 11 – пьезометры

Проведенные эксперименты позволили оценить скорость рыбоотводящего течения  $V_{\text{РЫБООТВОД. ТЕЧ.}}$  путем сопоставления с напором противотока  $\Delta H$  [2, 9–10]:

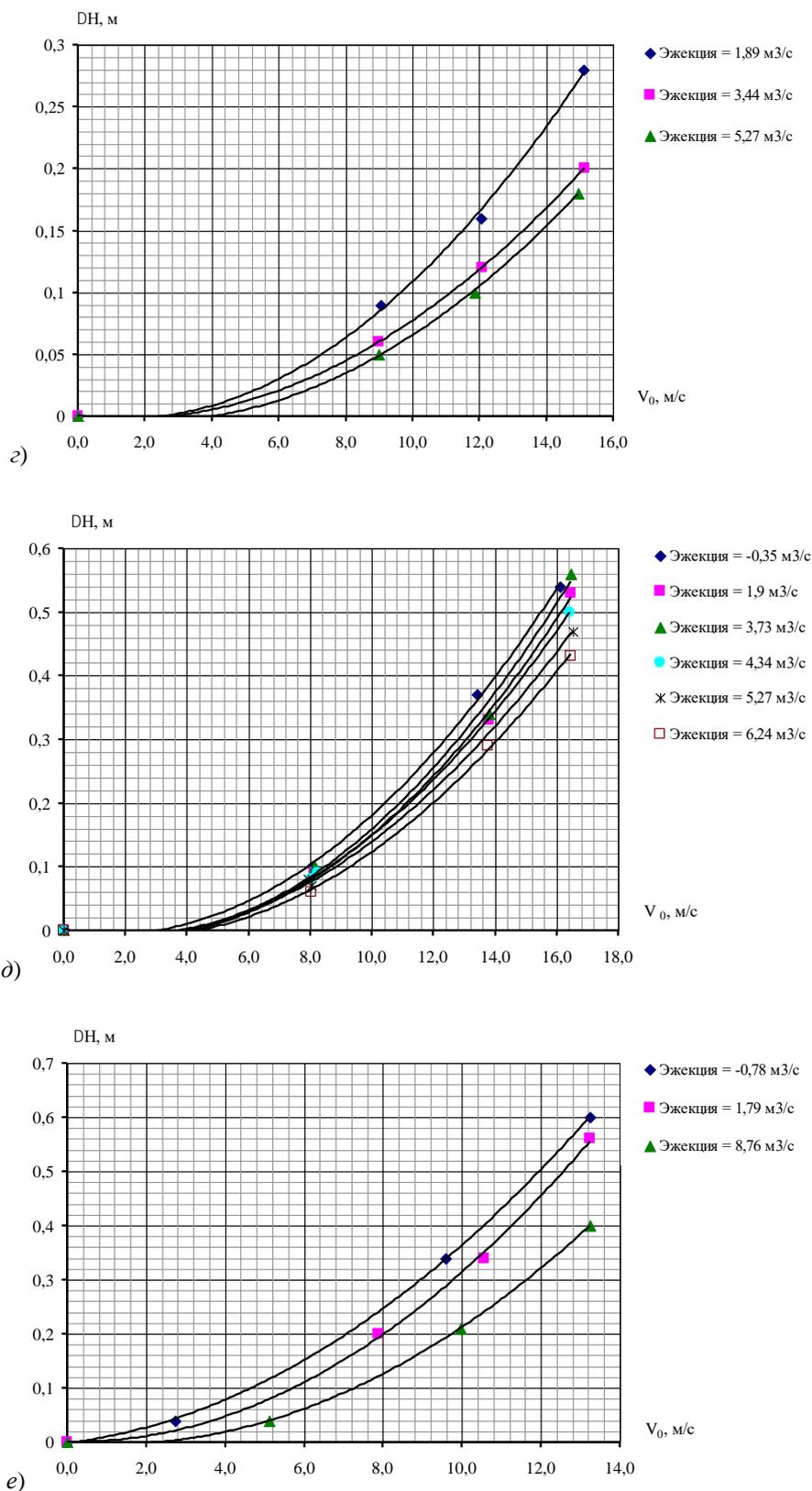
$$V_{\text{РЫБООТВОД. ТЕЧ.}} = \phi \sqrt{2g \cdot \Delta H - \frac{V_{U0}^2}{g}}, \quad (3)$$

где  $V_{\text{РЫБООТВОД. ТЕЧ.}}$  – скорость рыбоотводящего течения;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $\Delta H$  – напор противотока, м;  $V_{U0}$  – начальная скорость суммарного потока;  $\phi$  – безразмерный коэффициент привлекающего рыбу потока, устанавливаемый опытным путём [9–10].

Графики изменения величины напора  $\Delta H$ , создаваемого рыбоотводящим течением, от начальной скорости истечения водяных струй из сопел  $V_0$  (рис. 4) получены при различных значениях расхода воды на входе в рыбоотвод (эжектирующей способности рыбоотводящего течения)  $Q_{\text{ЭЖЕКЦИИ}}$ .



**Рис. 4.** График изменения величины напора противотока  $\Delta H$  в зависимости от начальной скорости истечения струй  $V_0$  из насадков при различных значениях величины возбужденного суммарным потоком расхода  $Q_{\text{ЭЖЕКЦИИ}}$  (расход рыбоотводящего течения): *а* – диаметр струеобразующих насадков  $d_0 = 0,10$  м, количество насадков 16, насадки расположены по противоположным сторонам рыбопропускного отверстия; *б* – диаметр струеобразующих насадков  $d_0 = 0,10$  м, количество насадков 4, насадки расположены по противоположным сторонам рыбопропускного отверстия; *в* – диаметр струеобразующих насадков  $d_0 = 0,10$  м, количество насадков 20, насадки равномерно расположены по периметру рыбопропускного отверстия



**Рис. 4** (окончание): *z* – диаметр струеобразующих насадков  $d_0 = 0,10$  м, количество насадков 12, насадки расположены по периметру рыбопропускного отверстия не равномерно; *д* – диаметр струеобразующих насадков  $d_0 = 0,10$  м, количество насадков 12, насадки расположены по противоположным сторонам рыбопропускного отверстия не равномерно; *е* – диаметр струеобразующих насадков  $d_0 = 0,10$  м, количество насадков 16, насадки расположены по периметру рыбопропускного отверстия не равномерно

**Краткие выводы по результатам экспериментальных исследований.** Анализ графических характеристик изменения величины напора противотока  $\Delta H$  в зависимости от начальной скорости истечения струй  $V_0$  из насадков при различных значениях величины возбужденного суммарным потоком расхода  $Q_{ЭЖЕКЦИИ}$  (расхода рыбоотводящего течения) позволяет сделать следующие основные выводы:

– повышение начальной скорости истечения струй  $V_0$  из струеобразующих насадков ведет к увеличению напора противотока  $\Delta H$ , создавая более мощное рыбоотводящее течение при одинаковых прочих условиях;

– величина возбужденного рыбоотводящим течением расхода  $Q_{ЭЖЕКЦИИ}$  прямо пропорционально значению начальной скорости истечения гидравлических струй  $V_0$  из струеобразующих насадков;

– в случае равномерного расположения струеобразующих насадков по периметру рыбопропускного отверстия одни и те же значения величины напора противотока  $\Delta H$ , создаваемого рыбоотводящим течением, достигаются при меньших значениях начальной скорости истечения струй  $V_0$  из струеобразующих насадков (рис. 4 а, в, е), чем в случае неравномерного расположения сопел (рис. 4 б, г, д).

**Заключение.** Предлагаемая нами конструкция гидравлического рыбозащитного устройства позволит:

- во-первых, существенным образом упростить задачу формирования эффективных транзитных водных течений рыбоотводящего назначения;
- во-вторых, простым способом регулировать дальность и скорость рыбоотводящего течения;
- в-третьих, соблюдать все экологические требования охраны природы.

Предлагаемая конструкция РЗУ, по нашему мнению, должна найти достаточно широкое применение для защиты рыб и ее молоди на водозаборах и на других источниках опасностей. Ее можно с большим успехом использовать для перенаправления молоди рыб от мест нереста к рыбопропускным сооружениям при покатных миграциях, а также привлечения производителей рыб в рыбопропускные сооружения и дальнейшей их проводки от рыбопропускных сооружений на участки и притоки водохранилища с ярко выраженными естественными течениями.

#### Список литературы

1. Введенский О.Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 67-81.
2. Введенский О.Г. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения на гидравлических струях: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. 264 с.
3. Введенский О.Г., Кириллов Д.Э. Рыбозащитное сооружение рыбонаправляющего действия // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. Вып. 4. С. 142-147.
4. Введенский О.Г., Зарницын А.Ю. Использование гидравлических струй в лестничных рыбоходах // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. Вып. 2. С. 289-294.

5. Пат. 2406801 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Способ пропуска молоди рыб через гидроузел при покатной миграции / О.Г. Введенский (РФ). № 2009117031/21; заявл. 04.05.2009; опубл. 20.12.2010, Бюл. № 35.

6. Пат. 2179265 РФ, МПК<sup>7</sup> F04F 5/02. Способ транспортировки жидкости с первого участка на второй, выше расположенный участок / О.Г. Введенский (РФ). № 2000110254/06; заявл. 20.04.2000; опубл. 10.02.2002, Бюл. № 4.

7. Пат. 2342485 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О.Г. Введенский (РФ). № 2006141959/03; заявл. 27.11.2006; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.

8. Пат. 84866 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Рыбоход ПЭС / А.В. Иванов (РФ), О.Г. Введенский (РФ), В.Г. Гаврилов (РФ), И.В. Гудков (РФ), Б.Л. Историк (РФ), Г.Л. Мажбиц (РФ), С.Н. Савченков (РФ), И.Н. Усачев (РФ), Г.Г. Филиппов (РФ), В.П. Халаджиев (РФ), Ю.Б. Шполянский (РФ). № 2009107859/22; заявл. 05.03.2009; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20.

9. Введенский О.Г. Разработка экологически щадящей технологии использования водных потоков для пропуска рыб на нерест через ГТС: дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16. Йошкар-Ола, 2001. 286 с.

10. Введенский, О.Г. Эксперименты по исследованию параллельно-струйных течений во встречном потоке тех же физических свойств / Марийск. гос. пед. ин-т. Москва, 2004. 38 с. Деп. в ВИНТИ 01.03.04; № 356.

## FISH PROTECTION HYDRAULIC STRUCTURE

*Wwedenskiy Oleg Germanovich, Aptykeeva Kseniya Evgenyevna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The problem of protection is considered thresh fishes from hit in a water intake at the migrations. A new design of the hydraulic structure for fish protection is proposed. Mathematical justification of a proposed technical solution is presented. Short results of pilot studies are given.*

**Keywords:** *water intake, to grind fishes, downstream migration fish, natural reproduction fish, nature-conservative measures*

УДК 531.36

## РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКУРСИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ДИНАМИКИ СИСТЕМ ТЕЛ С ДРЕВОВИДНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

*Журавлев Евгений Алексеевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
ZhuravlevEA@volgatech.net

*Представлены алгоритмы автоматического формирования уравнений динамики систем составных твердых тел с произвольной древовидной структурой сочленений, каждое из которых обладает одной вращательной степенью подвижности. Алгоритмы основываются на рекурсивном методе решения задачи обратной динамики системы тел. Приводятся псевдокоды используемых алгоритмов и результаты их компьютерной реализации.*

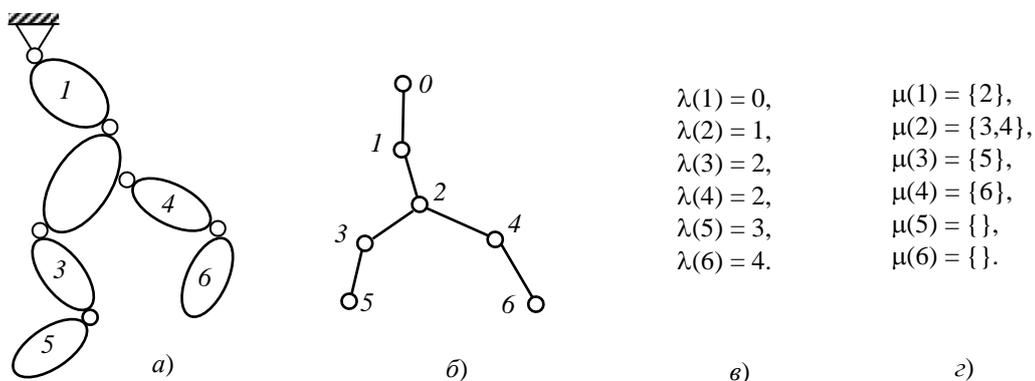
**Ключевые слова:** *система твердых тел, древовидная кинематическая структура, шарнирные сочленения, рекурсивные алгоритмы обратной динамики, компьютерная реализация.*

**Введение.** Динамические математические модели систем тел с древовидной кинематической структурой находят применение в проектировании таких механизмов, как экзоскелеты и антропоморфные роботы, а также в создании их правдоподобных компьютерных анимаций. Содержание данной статьи является естественным продолжением работы [1], посвященной реализации рекурсивных алгоритмов динамики для открытых линейных кинематических цепей. Обобщение таких алгоритмов на системы древовидной структуры не представляет особых трудностей. Вычислительная эффективность рассматриваемых в статье алгоритмов решения прямой задачи динамики системы тел оценивается как  $O(N^3)$ , где  $N$  – число степеней свободы системы [2]. Актуальность данной работы обусловлена отсутствием в отечественной литературе описаний подобных методик расчета, доступных для рядового пользователя-инженера или студента технического университета.

**Цель работы** – создание работоспособной программной реализации рекурсивного алгоритма формирования дифференциальных уравнений динамики системы твердых тел с древовидной кинематической структурой сочленений вращательного типа.

**Решаемые задачи:** 1) получить рекурсивную форму уравнений обратной динамики для произвольного кинематического дерева; 2) построить алгоритмы вычисления коэффициентов дифференциальных уравнений динамики древовидной системы тел, основанные на решении обратной задачи динамики такой системы; 3) осуществить эффективную компьютерную реализацию и тестирование этих алгоритмов.

**Математическое моделирование.** Рассмотрим систему из  $n$  связанных между собой твердых тел. Для описания структуры связей будем использовать граф сочленений, вершины которого соответствуют телам системы, а дуги – сочленениям этих тел. Далее рассматриваются только такие системы, у которых граф сочленений является деревом. Для идентификации тел и сочленений такой системы тел используется их нумерация от 1 до  $n$  по следующим простым правилам: номер тела должен быть больше номера его тела-родителя; номер сочленения должен быть равен номеру дочернего тела, входящего в это сочленение; к подвижным телам системы добавляется фиктивное корневое тело с номером 0, которое обычно соответствует инерциальной базе системы (рис. 1а, б).



**Рис. 1. Иллюстрация построения графа сочленений, родительского и детского массивов:**  
 а – кинематическая схема; б – граф сочленений; в – родительский массив  $\lambda$ ; г – массив детей  $\mu$

В последующем изложении важную роль играют два массива:  $\lambda$  – родительский массив, составленный из чисел-номеров тел-родителей, и  $\mu$  – массив детей, элементы которого – множества из номеров тел-детей. Таким образом,  $\lambda(i) = k$  – номер тела-родителя тела  $i$ , а  $\mu(i) = \{m, \dots, p\}$  – множество номеров тел-детей тела  $i$  (рис. 1в, 2).

Будем считать, что все сочленения системы – цилиндрические шарниры, тогда за обобщенные координаты естественно принять углы взаимного поворота сочленяемых тел  $q_1, q_2, \dots, q_n$ . С каждым телом жестко свяжем декартовы оси локальной системы координат  $O_i X_i Y_i Z_i$ , в которой ось  $Z_i$  совпадает с осью  $i$ -го сочленения (рис. 2).

Считаем известными инерционные характеристики тел системы: их массы  $m_i$ , радиус-векторы центров масс  $\mathbf{r}_i = O_i C_i$ , а также матрицы инерции  $\mathbf{I}_i$  в центральных осях, параллельных  $X_i, Y_i, Z_i$ . Для геометрического описания расположения сочленений зададим радиус-вектор  $\mathbf{r}'_i$  начала  $O_i$  локальной координатной системы тела  $i$  относительно начала  $O_{\lambda(i)}$  локальных координат тела-родителя (см. рис. 2).

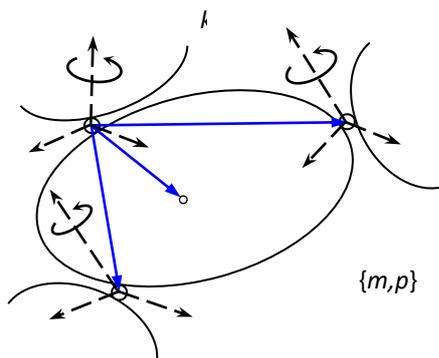


Рис.2. Локальные системы координат и обобщенные координаты

Решение обратной задачи динамики такой системы тел сводится к расчету приводных моментов  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , действующих в сочленениях, по заданным векторам обобщенных координат  $\mathbf{q} = (q_1, \dots, q_n)^T$ , скоростей  $\dot{\mathbf{q}} = (\dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n)^T$  и уско-

рений  $\ddot{\mathbf{q}} = (\ddot{q}_1, \dots, \ddot{q}_n)^T$ , известным инерционным характеристикам тел  $m_i, \mathbf{r}_i, \mathbf{I}_i$  и заданным силам, действующим на тела системы. Известно, что наиболее эффективным методом решения такой задачи является двухпроходной алгоритм, предложенный в работе [3]. Ниже приведен псевдокод этого алгоритма для рассматриваемой системы тел при отсутствии неприводных сил.

```

calcQ ( $\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}, \lambda, \mu, \mathbf{a}'_0; m_i, \mathbf{r}_i, \mathbf{r}'_i, \mathbf{I}_i, \mathbf{P}_i, i = 1, \dots, n$ )
 $\omega_0, \varepsilon_0 = 0; \mathbf{k} = (0, 0, 1)^T;$ 
for  $i = 1$  to  $n$  do begin  $\omega_i = \mathbf{P}_i \omega_{\lambda(i)} + \dot{q}_i \mathbf{k}; \varepsilon_i = \mathbf{P}_i \varepsilon_{\lambda(i)} + \mathbf{P}_i \omega_{\lambda(i)} \times \dot{q}_i \mathbf{k} + \ddot{q}_i \mathbf{k};$ 
 $\mathbf{M}_i = \mathbf{I}_i \varepsilon_i + \omega_i \times \mathbf{I}_i \omega_i;$ 
 $\mathbf{a}_i = \mathbf{P}_i \mathbf{a}'_{\lambda(i)} + \omega_i \times (\omega_i \times \mathbf{r}_i) + \varepsilon_i \times \mathbf{r}_i;$  for  $j \in \mu(i)$  do  $\mathbf{a}'_j = \mathbf{P}_j \mathbf{a}'_{\lambda(i)} + \omega_i \times (\omega_i \times \mathbf{r}'_j) + \varepsilon_i \times \mathbf{r}'_j;$ 
 $\mathbf{R}_i = m_i \mathbf{a}_i$  end
for  $i = n$  to  $1$  do begin  $\mathbf{S}, \mathbf{T} = 0;$  for  $j \in \mu(i)$  do; begin  $\mathbf{S} = \mathbf{S} + \mathbf{P}_j^T \mathbf{N}_j; \mathbf{T} = \mathbf{T} + \mathbf{P}_j^T \mathbf{L}_j$  end
 $\mathbf{N}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{S}; \mathbf{L}_i = \mathbf{M}_i + \mathbf{r}_i \times \mathbf{R}_i + \mathbf{T}; Q_i = \mathbf{L}_i \mathbf{k};$  end

```

Здесь  $\omega_i$  и  $\varepsilon_i$  – угловые скорости и ускорения тел;  $\mathbf{a}_i$  – ускорения центров масс тел;  $\mathbf{a}'_i$  – ускорение начала локальной системы координат тела  $i$ ;  $\mathbf{a}'_0$  – ускорение поступательного движения базы (тела 0);  $\mathbf{R}_i$  и  $\mathbf{M}_i$  – главный вектор и главный центральный

момент всех действующих на тело  $i$  сил;  $\mathbf{N}_i$  и  $\mathbf{L}_i$  – главный вектор и главный момент сил, действующих на тело  $i$  в его сочленении с родительским телом  $\lambda(i)$ ;  $\mathbf{P}_i(q_i)$  – матрица преобразования координат вектора из локальной системы координат родительского тела  $\lambda(i)$  в локальную систему координат тела  $i$ .

Функцию **calcQ** можно использовать для расчета коэффициентов дифференциальных уравнений динамики рассматриваемой системы тел. Известно [1], что эти уравнения имеют вид

$$\begin{pmatrix} A_{11}(\mathbf{q})\ddot{q}_1 & A_{12}(\mathbf{q})\ddot{q}_2 & \cdots & A_{1n}(\mathbf{q})\ddot{q}_n \\ A_{21}(\mathbf{q})\ddot{q}_1 & A_{22}(\mathbf{q})\ddot{q}_2 & \cdots & A_{2n}(\mathbf{q})\ddot{q}_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{n1}(\mathbf{q})\ddot{q}_1 & A_{n2}(\mathbf{q})\ddot{q}_2 & \cdots & A_{nn}(\mathbf{q})\ddot{q}_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_1(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}^T \\ \dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_2(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}^T \\ \cdots \\ \dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_n(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \cdots \\ Q_n \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что при  $\ddot{\mathbf{q}} = 0$ ,  $\mathbf{a}'_0 = 0$  функция **calcQ** вычисляет значения всех гироскоростных членов  $\dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_i(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}^T = Q_i$ , а при  $\dot{\mathbf{q}} = 0$ ,  $q_i = 1, q_{j \neq i} = 0$ ,  $\mathbf{a}'_0 = 0$  – значения всех элементов  $i$ -го столбца матрицы инерции  $A_{i1}(\mathbf{q}) = Q_1$ ,  $A_{i2}(\mathbf{q}) = Q_2$ , ...,  $A_{in}(\mathbf{q}) = Q_n$ . Если принять  $\dot{\mathbf{q}} = 0$ ,  $\ddot{\mathbf{q}} = 0$ ,  $\mathbf{a}'_0 = -\mathbf{g}$ , то функция **calcQ** вычислит значения обобщенных сил  $Q_{gi}$  системы, обусловленных действием гравитации. Все это позволяет использовать функцию **calcQ** для решения прямой задачи динамики рассматриваемой системы тел.

Решение прямой задачи состоит в вычислении вектора  $\ddot{\mathbf{q}}$  обобщенных ускорений системы тел с известными инерционными характеристиками в её заданном кинематическом состоянии  $(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  при известных действующих силах. Очевидно, что после того, как вычислены матрица инерции  $A = \|A_{ij}(\mathbf{q})\|$  и гироскоростные члены  $\dot{\mathbf{q}}\mathbf{H}_i(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}^T$ , а также заданы все приводные и неприводные обобщенные силы, решение прямой задачи сводится к решению линейной относительно обобщенных ускорений  $\ddot{\mathbf{q}}$  системы уравнений (1). Результат такого решения можно символически выразить в виде  $\ddot{\mathbf{q}} = f(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t)$ , где функция  $f$  вызывает описанные выше процедуры вычисления коэффициентов и свободных членов системы (1), а также её решения.

Описанные выше алгоритмы и функции легко встраиваются в конечно-разностную схему интегрирования системы дифференциальных уравнений (1) при использовании любого явного метода, например метода Рунге-Кутты.

**Численная реализация.** Реализация описанных алгоритмов выполнена средствами программирования пакета Mathcad 7.0. На рисунке 3 демонстрируются результаты численного моделирования движения плоского шарнирного шестизвенника древовидной кинематической структуры под действием сил тяжести. Звенья – однородные стержни длиной  $l_1 = l_3 = l_4 = l_5 = l_6 = 1$  м,  $l_2 = 2$  м. Шаг интегрирования 0.02 с, время счета составило 2,1 реального времени.

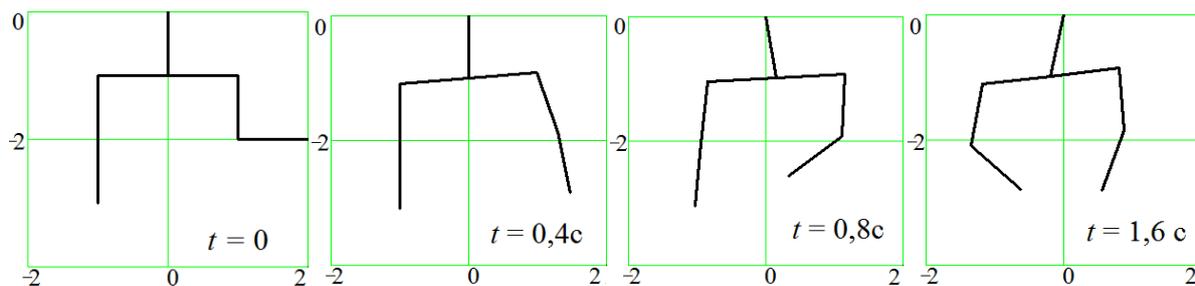


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования свободного движения плоского шестизвенника

### Выводы

1. Описана методика формирования динамических уравнений системы шарнирно сочлененных твердых тел с древовидной структурой сочленений на основе рекурсивных алгоритмов обратной динамики.

2. Программная реализация и апробация предложенных алгоритмов подтверждает их эффективность в динамическом моделировании многотельных систем древовидной структуры.

*Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»*

### Список литературы

1. Журавлев Е.А. Реализация рекурсивных алгоритмов динамики для механизмов с линейной кинематической структурой // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола, 2019. Вып 7. С. 160-166.
2. Featherstone R. Rigid body dynamics algorithms. Springer Science+Business Media, 2008. 272 p.
3. Walker M. W., Orin D. E. Efficient Dynamic Computer Simulation of Robotic Mechanisms, Trans. ASME // J. Dynamic Systems, Measurement & Control. 1982. Vol. 104. Pp. 205-211.

### REALIZATION OF RECURSIVE DYNAMICS ALGORITHMS FOR MULTIBODY SYSTEMS WITH TREE KINEMATIC STRUCTURE

*Zhuravlev Evgeniy Alekseyevich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Automatic formation algorithms for dynamic equations of rigid bodies systems with an arbitrary tree-like structure of rotary joints with one degree of freedom are presented. The algorithms are based on a recursive method for solving the problem of inverse dynamics of a system of solids. The pseudo-codes of the algorithms used and the result of their computer implementation are given*

**Keywords:** *system of solids, tree kinematic structure, rotational joints, direct dynamics problem, inverse dynamics recursive algorithms, computer realization.*

УДК 519.71

## СЛУЧАЙНОЕ БЛУЖДЕНИЕ НА ОТРЕЗКЕ ПРЯМОЙ С ОТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ

*Костромин Геннадий Яковлевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
KostrominGY@volgatech.net

*Рассмотрено случайное блуждание по целочисленным точкам отрезка прямой с отражающими экранами на концах отрезка. Получена формула вероятности перехода за  $n$  шагов конечной однородной цепи Маркова, которая моделирует случайное блуждание.*

**Ключевые слова:** случайное блуждание, вероятность, частица, шаг, производящая функция.

**Введение.** В работе [1] получена формула вероятности перехода из одной точки в другую за конечное число шагов в случайном блуждании с состояниями  $1, 2, \dots, a$  и двумя отражающими экранами, в котором частица переходит на единицу вправо с вероятностью  $p$  и влево с вероятностью  $q$ .

В настоящей работе рассмотрено случайное блуждание по целочисленным точкам отрезка прямой с отражающими экранами на концах отрезка, в котором частица переходит на единицу вправо с вероятностью  $p_2$ , влево с вероятностью  $q$  и остается на месте с вероятностью  $r$ . Решается задача нахождения формулы вероятности перехода за  $n$  шагов конечной однородной цепи Маркова, моделирующей случайное блуждание.

**Цель работы** – получение формулы вероятности перехода за  $n$  шагов конечной однородной цепи Маркова, которая моделирует случайное блуждание по целочисленным точкам отрезка прямой с отражающими экранами на концах отрезка.

**Решаемые задачи:** 1) определение производящей функции вероятностей перехода; 2) получение формулы вероятностей перехода за  $n$  шагов цепи Маркова, которая моделирует случайное блуждание.

**Математическое моделирование.** Рассмотрено случайное блуждание частицы по целочисленным точкам отрезка  $[1, a]$  прямой с отражающими экранами на концах отрезка и переходными вероятностями

$$\left. \begin{aligned} p_{i-1} = q, p_{i+1} = p, p_{ii} = r, i = 2, 3, \dots, a-1, \\ p_{11} = q+r, p_{12} = p, p_{aa} = p+r, p_{a-1} = q, \\ p+q+r=1, p>0, q>0, \\ p_{ij} = 0 \text{ для } |i-j|>1, a - \text{натуральное число.} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Такое случайное блуждание моделирует однородная цепь Маркова с состояниями  $1, 2, 3, \dots, a$  и матрицей вероятностей перехода  $P = \|p_{ij}\|$  ( $i, j = 1, 2, 3, \dots, a$ ), где  $p_{ij}$  определены в системе (1).



$$\Delta_j^{(k)}(s) = (qs)^{j-k-1} \left[ p(qs)^2 D_{k-2}(s) + rqsD_{k-1}(s) + qD_k(s) \right] B_{a-j}(s) \quad (8)$$

при  $j > k, 2 \leq k \leq a-1,$

$$\Delta_j^{(k)}(s) = (ps)^{k-j-1} \left[ q(ps)^2 B_{a-k-1}(s) + prsB_{a-k}(s) + pB_{a-k+1}(s) \right] D_{j-1}(s) \quad (9)$$

при  $j < k, 2 \leq k \leq a-1,$

$$\Delta_j^{(k)}(s) = pqsD_{k-2}(s)B_{a-k}(s) + rD_{k-1}(s)B_{a-k}(s) + pqsD_{k-1}(s)B_{a-k-1}(s) \quad (10)$$

при  $j = k = 2, 3, \dots, a-1,$

$$\Delta_j^{(a)}(s) = \begin{cases} p(ps)^{a-j-1} D_{j-1}(s), & j = 1, 2, \dots, a-1 \\ (p+r)D_{a-1}(s) + pqsD_{a-2}(s), & j = a, \end{cases} \quad (11)$$

$$\Delta_j^{(1)}(s) = \begin{cases} q(qs)^{j-2} B_{a-j}(s), & j = 2, 3, \dots, a \\ (q+r)B_{a-1}(s) + pqsB_{a-2}(s), & j = 1. \end{cases} \quad (12)$$

Вводим независимую переменную  $\varphi$ , полагая

$$\cos \varphi = \frac{1-rs}{2s\sqrt{pq}}. \quad (13)$$

Используя (13), из (5), (6) и (7) имеем

$$\Delta^{(k)}(s) = \frac{(\sqrt{pq})^{a-2} M(s)}{\sin \varphi (r + 2\sqrt{pq} \cos \varphi)^a}, \quad (14)$$

$$B_k(s) = \frac{(\sqrt{pq})^{k-1} F_k(\varphi)}{(r + 2\sqrt{pq} \cos \varphi)^k \sin \varphi}, \quad (15)$$

$$D_s(s) = \frac{(\sqrt{pq})^{k-1} E_k(\varphi)}{(r + 2\sqrt{pq} \cos \varphi)^k \sin \varphi}, \quad (16)$$

где

$$M(s) = -\sqrt{pq} (1-r-2\sqrt{pq} \cos \varphi) \cdot \sin a\varphi, \quad (17)$$

$$E_k(\varphi) = \sqrt{pq} \sin(k+1)\varphi - q \sin k\varphi, \quad (18)$$

$$F_k(\varphi) = \sqrt{pq} \sin(k+1)\varphi - p \sin k\varphi. \quad (19)$$

Из (8)-(12), (14)-(19) получаем

$$U_{jk}(s) = p^{\frac{k-j-1}{2}} q^{\frac{j-k-1}{2}} \frac{(r + 2\sqrt{pq} \cos \varphi)^2 E_{k-1}(\varphi) F_{a-j}(\varphi)}{M(s) \sin \varphi} \quad (20)$$

при  $j > k, 1 \leq k \leq a-1,$

$$U_{jk}(s) = p^{\frac{k-j-1}{2}} q^{\frac{j-k-1}{2}} \frac{(r + 2\sqrt{pq} \cos \varphi)^2 E_{j-1}(\varphi) F_{a-k}(\varphi)}{M(s) \sin \varphi} \quad (21)$$

при  $j < k, 2 \leq k \leq a,$

$$U_{jk}(s) = \frac{r + 2\sqrt{pq} \cos \varphi}{\sqrt{pq} M(s) \sin \varphi} \left[ (r + 2\sqrt{pq} \cos \varphi) E_{k-1}(\varphi) F_{a-k}(\varphi) - \sqrt{pq} M(s) \sin \varphi \right] \quad (22)$$

при  $j = k = 1, 2, \dots, a.$

Для нахождения вероятности  $p_{jk}(n)$  применим [1] метод разложения производящей функции  $U_{jk}(s)$  на простые дроби. Из (5) имеем

$$\Delta^{(k)}(1) = pq(A_{a-2}(1) - (p+q))A_{a-3}(1) + pqA_{a-4}(1) = 0.$$

Следовательно,  $s_0 = 1$  является корнем знаменателя производящей функции  $U_{jk}(s)$ . Остальные корни знаменателя находим, решая уравнение

$$-\sqrt{pq}(1 - r - 2\sqrt{pq} \cos \varphi) \sin a\varphi = 0. \quad (23)$$

Из (23) имеем

$$\sin a\varphi = 0. \quad (24)$$

Очевидно, что числа

$$\varphi = \frac{\pi}{a}, \frac{2\pi}{a}, \dots, \frac{(a-1)\pi}{a}$$

являются корнями уравнения (24).

Используя (13), находим соответствующие значения  $s$ :

$$s_j = \left( r + 2\sqrt{pq} \cos \frac{i\pi}{a} \right)^{-1}, j = 1, 2, \dots, a-1. \quad (25)$$

Из (20), (21), (22), и (25) определяем коэффициент при  $s^{n-1}$  в формуле (2) производящей функции  $U_{jk}(s)$

$$p_{jk}(n) = \frac{p-q}{p^a - q^a} p^{k-1} q^{a-k} + \frac{2}{a} p^{\frac{k-j}{2}} q^{\frac{j-k}{2}} \sum_{i=1}^{a-1} \frac{\left( r + 2\sqrt{pq} \cos \frac{i\pi}{a} \right)^n}{1 - r - 2\sqrt{pq} \cos \frac{i\pi}{a}} \cdot H(i, k) \cdot H(i, j) \quad (26)$$

при  $p \neq q,$

$$p_{jk}(n) = \frac{1}{a} + \frac{2}{a} \sum_{i=1}^{a-1} \frac{\left( r + 2p \cos \frac{i\pi}{a} \right)^n}{1 - r - 2p \cos \frac{i\pi}{a}} \cdot H(i, k) \cdot H(i, j) \quad (27)$$

при  $p = q$ ,

где

$$H(i, t) = \sqrt{p} \sin \frac{i\pi t}{a} - \sqrt{q} \sin \frac{i\pi(t-1)}{a}, \quad t \in \{1, 2, \dots, a-1\}. \quad (28)$$

Приведем два примера, иллюстрирующие полученные формулы.

**Пример 1.** Рассматривается случайное блуждание при  $a = 3$ ,  $p = q$ . Найти вероятность перехода из точки 2 в точку 3 за  $n$  шагов.

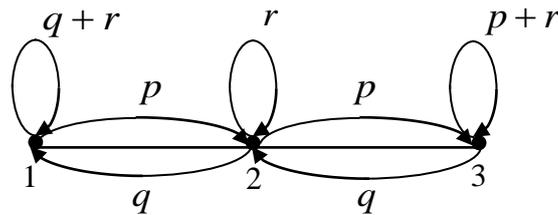
По формуле (27) имеем

$$p_{23}(n) = \frac{1}{3} + \frac{2p}{3} \sum_{i=1}^2 \frac{\left(r + 2p \cos \frac{i\pi}{3}\right)^n}{1 - r - 2p \cos \frac{i\pi}{3}} \left(\sin i\pi - \sin \frac{2i\pi}{3}\right) \left(\sin \frac{2i\pi}{3} - \sin \frac{i\pi}{3}\right) = \frac{1}{3} [1 - (1 - 3p)^n]. \quad (29)$$

Положим для определенности  $n = 3$ . Тогда по формуле (29) получаем

$$p_{23}(3) = 3(p - 3p^2 + 3p^3).$$

Этой цепи соответствует граф



Переход из точки 2 в точку 3 за 3 шага может быть осуществлен различными путями:

$2 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ,  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ,  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 3$ ,  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 3$ ,  $2 \rightarrow 3 \rightarrow 3 \rightarrow 3$ ,  $2 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ .

Сумма соответствующих вероятностей

$$p_{23}(3) = p^3 + r^2 p + rp(p+r + p(p+r)^2 + p^3) = 3(p - 3p^2 + 3p^3).$$

Результаты вычислений по формуле и по путям перехода совпадают.

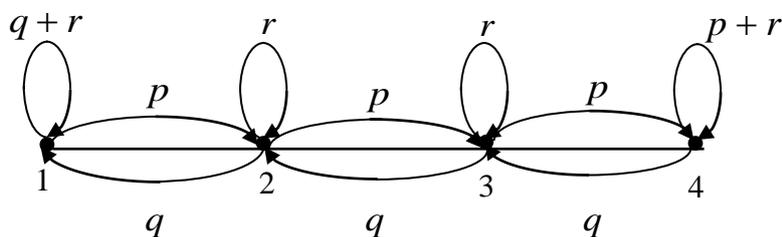
**Пример 2.** Рассматривается случайное блуждание частицы по целочисленным точкам отрезка  $[1, 4]$  с отражающими экранами в точках 1 и 4 при  $p \neq q$ . Найти вероятность перехода из точки 3 в точку 1 за  $n$  шагов.

По формуле (26) имеем

$$p_{31}(n) = \frac{1}{4(p+q)(p^2+q^2)} \left( 4q^3 + \frac{q}{2p} \left[ (p+q)\sqrt{2p} \left( (r+\sqrt{2pq})^n \cdot (1-r+\sqrt{2pq})(\sqrt{2p}-2\sqrt{q}) + (r-\sqrt{2pq})^n \cdot (1-r-\sqrt{2pq}) \cdot (\sqrt{2p}+2\sqrt{q}) \right) - 4p(p^2+q^2)r^n \right] \right). \quad (30)$$

Пусть  $n = 4$ ,  $p = \frac{1}{4}$ ,  $r = \frac{1}{4}$ ,  $q = \frac{1}{2}$ . Тогда получаем  $p_{31}(4) = \frac{3}{8}$ .

Такой цепи Маркова соответствует граф



Переход из точки 3 в точку 1 за 4 шага может быть осуществлен следующими путями:

$3 \rightarrow 3 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ,  $3 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ,  $3 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ,  $3 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ ,  
 $3 \rightarrow 2 \rightarrow 2 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ,  $3 \rightarrow 2 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ ,  $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ ,  $3 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ,  
 $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ .

Сумма соответствующих вероятностей равна

$$p_{31}(4) = r^2 q^2 + p q^3 + r^2 q^2 + r q^2 (q+r) + q^2 r^2 + q^2 r (q+r) + q^2 (r+q)^2 + p q^3 + p q^3.$$

При  $p = \frac{1}{4}$ ,  $r = \frac{1}{4}$ ,  $q = \frac{1}{2}$  вычисляем  $p_{31}(4) = \frac{3}{8}$ .

Результаты вычислений по формуле (30) и по путям перехода из точки 3 в точку 1 совпадают.

**Вывод.** Получена формула вероятности перехода за  $n$  шагов конечной однородной цепи Маркова, которая моделирует случайное блуждание по целочисленным точкам отрезка прямой с отражающими экранами на концах отрезка.

#### Список литературы

1. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Москва: Мир, 1964. 498 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. Москва: Наука, 1966. 576 с.

#### PROBABILITY OF THE FIRST RETURN OF A PARTICLE THAT LISTED IN A PARALLELEPIPEDED ON THE INTEGRAL POINTS $n$ -DIMENSIONAL LATTICE

*Kostromin Gennadiy Yakovlevich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Random wandering along integer points of line segment with reflecting screens at the ends of segment is considered. The formula of probability of transition beyond  $n$  steps of the finite homogeneous Markov chain, which models random wandering, is obtained.*

**Keywords:** *random wandering, probability, particle, step producing function.*

## Сведения об авторах

*АГАЧЕВА Светлана Владимировна* – кандидат филологических наук, доцент кафедры лингвистики и иностранных языков

*АНДРИАНОВ Денис Юрьевич* – оператор научной роты военного инновационного технополиса «ЭРА»

*АНДРИАНОВ Юрий Семенович* – кандидат технических наук, начальник УНИД

*АПТЫКЕЕВА Ксения Евгеньевна* – студент ПГТУ

*БАСТРАКОВА Марина Ивановна* – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники и связи

*БОГАТЫРЕВ Максим Дмитриевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий

*БОРОДИН Андрей Викторович* – кандидат экономических наук, зав. кафедрой информатики и системного программирования

*ВЕДЕНЬКИНА Любовь Александровна* – студент ПГТУ

*ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*ЖУРАВЛЕВ Евгений Алексеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

*ЗАХАРОВ Юрий Владимирович* – кандидат технических наук, профессор кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных систем

*КОТЛОВ Виталий Геннадьевич* – кандидат технических наук, директор Института строительства и архитектуры

*КОСТРОМИН Геннадий Яковлевич* – доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий

*КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*КУКЛИН Владимир Андреевич* – аспирант ПГТУ

*ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович* – кандидат технических наук, профессор-консультант кафедры проектирования и производства ЭВС

*МАЛЬКОВ Юрий Гаврилович* – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования

*НИКИШОВ Юрий Гаврилович* – кандидат технических наук, ветеран ПГТУ

*ОНУЧИН Евгений Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий

*ПЕНКИН Дмитрий Анатольевич* – кандидат технических наук, главный конструктор ООО «ИНВ-СТРОЙ»

*ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич* – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*ПОЗДЕЕВ Виктор Михайлович* – кандидат технических наук, зав. кафедрой строительных конструкций и водоснабжения

*РЫБАКОВ Павел Андреевич* – аспирант ПГТУ

*РЯБОВА Наталья Владимировна* – доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой радиотехники и связи

*САФИУЛЛИНА Яна Михайловна* – студент ПГТУ

*СИДЫГАНОВ Юрий Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машин и оборудования

*ТАТАРИНОВ Денис Сергеевич* – аспирант ПГТУ

*УРЖУМОВ Даниил Владимирович* – старший преподаватель кафедры информатики

*ФИЛИППОВА Валерия Родионовна* – студент ПГТУ

*ХИНКАНИН Александр Павлович* – кандидат технических наук, зав. кафедрой проектирования зданий

*ХИНКАНИН Леонид Александрович* – старший преподаватель кафедры проектирования зданий

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

## ЛЕС, ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

*Мальков Ю. Г.*

Видовое разнообразие орнитофауны, не отнесенной к объектам охоты, в условиях Марийского Полесья .....	5
---	---

*Никишов Ю. Г.*

Исследование влияния плотности древесины на зачерпывающую способность и энергозатраты при наборе пачки круглых лесоматериалов приводным грейфером.....	10
--	----

*Татаринев Д. С., Агачева С. В.*

Разработка и комбинированное использование портального харвестера и мобильной системы канатного крана в лесных процессах для полностью механизированного сбора древесины на ровных местах, чувствительных к движению .....	15
--	----

## ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

*Богатырев М. Д.*

Обоснование параметров магниторезонансного генератора .....	22
---	----

*Сидыганов Ю. Н., Онучин Е. М., Рыбаков П. А.*

Имитационное моделирование струйно-ударного измельчения.....	27
--	----

*Сидыганов Ю. Н., Онучин Е. М., Рыбаков П. А.*

Струйно-ударный способ измельчения растительного сырья.....	33
---	----

## РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

*Рябова Н. В., Бастрарева М. И.*

Современные подходы к повышению помехоустойчивости и пропускной способности ионосферных радиоканалов .....	38
--	----

*Лаврентьев Б. Ф., Сафиуллина Я. М., Андрианов Д. Ю.*

Аквариумы с роботизированными обитателями и источником энергии за счет внешнего освещения .....	42
---	----

*Лаврентьев Б. Ф., Веденькина Л. А., Андрианов Д. Ю., Сафиуллина Я. М.*

Источники питания для передвижных информационных робототехнических конструкций.....	47
---	----

*Сафиуллина Я. М., Лаврентьев Б. Ф., Андрианов Д. Ю.*

Рыбки-роботы.....	52
-------------------	----

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

**Бородин А. В.**

Разработка сетевой инфраструктуры учебно-исследовательского кластера кафедры информатики и системного программирования ПГТУ ..... 57

**Бородин А. В.**

О сведении задачи деобфускации кода к задаче факторизации больших чисел ..... 62

**Уржумов Д. В.**

Проектирование программной архитектуры, порождающей пользовательские интерфейсы генерации серий параметров динамически определяемого типа ..... 68

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

**Андреанов Ю. С., Захаров Ю. В., Котлов В. Г., Лаврентьев Б. Ф., Сафиуллина Я. М.**

Проект реконструкции города Йошкар-Олы ..... 75

**Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А., Филиппова В. Р.**

Информационно-технологическая модель расчета динамических характеристик трубопровода в створе подводного перехода ..... 81

**Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А., Филиппова В. Р.**

Экспериментальное исследование динамического воздействия потока на участок подводного перехода ..... 87

**Поздеев В. М., Куклин В. А., Пекин Д. А.**

К разработке методики экспериментального исследования прочности бетона на сдвиг в плоском напряженном состоянии *сжатие – сдвиг* ..... 93

**Хинканин Л. А., Хинканин А. П.**

Исследование микроклимата в зоне посадки птенцов бройлеров ..... 98

**Хинканин А. П., Хинканин Л. А.**

Новая оценка времени инсоляции ..... 103

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Введенский О. Г., Аптыкеева К. Е.**

Гидравлическое рыбозащитное сооружение ..... 109

**Журавлев Е. А.**

Реализация рекурсивных алгоритмов динамики систем тел с древовидной кинематической структурой ..... 118

**Костромин Г. Я.**

Случайное блуждание на отрезке прямой с отражающими экранами ..... 123

Сведения об авторах ..... 129

*Научное издание*

# ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 8

Серия Технологическая

Ответственный за выпуск

*Е. С. Шарапов*

Редакторы

*Л. С. Емельянова, П. Г. Павловская*

Компьютерная верстка

*С. Н. Эштыкова*

Дизайн обложки

*Ю. А. Полевщикова*

Переводы на английский язык предоставлены  
авторами статей

Подписано в печать 18.09.2020. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,58. Тираж 500 экз. Заказ № 0000.

Поволжский государственный технологический университет  
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в типографии

## ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» приглашает Вас опубликовать свои статьи в сборнике «Труды ПГТУ». Сборнику присвоен Международный стандартный номер сериального издания (ISSN). Материалы сборника постатейно отражаются в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

В сборнике публикуются результаты оригинальных авторских исследований (ранее нигде не печатавшихся и не переданных в другие редакции) по следующим направлениям:

- серия Технологическая (физико-математические науки; радиотехнические инфокоммуникационные и медико-биологические системы; лес, экология, природопользование; транспорт, энергетика, машиностроение; технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств; строительство и архитектура; биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды);
- серия Социально-экономическая (экономика, управление и право, философия, культурология, педагогика, психология, история, социология, политология и др.).

### Требования к оригиналам предоставляемых работ

**Основные требования к содержанию статей:** актуальность, научная новизна, практическая значимость.

**Структура научной статьи:**

- Заголовок (наименование публикации).
- Ф.И.О. авторов (с указанием места работы, должности, ученой степени, звания).
- Аннотация (3-4 предложения, 50-100 слов).
- Ключевые слова или словосочетания (5-10 слов).

Желательно наличие в статье следующих **рубрик:**

- Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
- Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации.
- Решаемые задачи, способствующие достижению цели.
- Математическое, аналитическое или иное моделирование.
- Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
- Интерпретация результатов или их анализ.
- Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающие, что цель, поставленная в работе, достигнута.
- Список используемой литературы.
- Сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке (авторы должны обеспечить аутентичный перевод).

**Требования к оформлению статьи:**

- Статья должна быть представлена в электронном варианте и распечатанном виде.
- ✓ Объем статьи – 5 страниц формата А4 (до конца заполненных);
  - ✓ основной шрифт – 12 pt Times New Roman; межстрочный интервал – одинарный;
  - ✓ поля – 2 см;
  - ✓ отступы в начале абзаца – 0,75 см;
  - ✓ УДК оформляется в левом углу листа, светлым шрифтом, без отступа;
  - ✓ нумерация страниц – внизу по центру, 12 pt;
  - ✓ **НАЗВАНИЕ** статьи печатается по центру, прописными буквами, полужирным прямым шрифтом (Times New Roman, 12 pt);
  - ✓ **Фамилия, имя и отчество авторов** (полностью) должны быть напечатаны по центру жирным курсивом, 12 pt;
  - ✓ место работы, страна, город – шрифт 10 pt светлый прямой;
  - ✓ электронный адрес одного из авторов – шрифт 10 pt;
  - ✓ аннотация и ключевые слова – шрифт 11 pt, светлый курсив;
  - ✓ основной текст статьи – с отступом в один интервал после аннотации. Выравнивание текста – по ширине; переносы ставятся автоматически. Выделения в тексте выполняются светлым курсивом;
  - ✓ **заголовки рубрик** выделяются полужирным шрифтом;
  - ✓ таблицы, рисунки, графики (печатаются только в черно-белом исполнении, цветные иллюстрации доступны лишь в электронной версии сборника) должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 pt, заголовки **полужирным**, по центру); таблицы и рисунки следует по возможности вставлять в текст после абзацев, содержащих ссылку на них; размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см);
  - ✓ после списка литературы – сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова – на *английском языке*, шрифт 10 pt;
  - ✓ *список литературы:* заголовки – строчными курсивом шрифт 11 pt, список – прямым, шрифт 11 pt;
  - ✓ ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках, литература оформляется согласно ГОСТ Р 7.05-2008; количество источников – не более 10; обязательны ссылки на работы, опубликованные в последние 5-10 лет; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

**Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.**

*Управление научной и инновационной деятельности*

*Поволжского государственного технологического университета*

*424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ, ауд. 423а(1), т. 68-60-09, e-mail: SmirnovaEV@volgatech.net*